مخطط الاتزان الحراري للحديد والكربون
مخطط الحديد والكربون

قبل التكلم عن مخطط الاتزان الحراري للحديد والكربون يجب أولا معرفة ماذا يعني كلمة طور الطور

يعرف الطور بأنه جزء من المادة متجانس له خواص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية المميزه. مثال لذلك الثلج في الماء هما طوران لأنه يمكننا تمييز الماء عن الثلج رغم أن لهما نفس التركيب الكيميائي بينما النسكافيه فهي طور واحد رغم احتوائها على عدة عناصر (قهوة – سكر – حليب – ماء) إلا أنها امتزجت مع بعضها بحيث لا يمكن تمييز هده العناصر وأصبحت طوراً واحداً أسمه نسكافيه.

يبين الشكل مخطط الاتزان الحرارى للحديد والكربون ونلاحظ في الشكل ما يلي:

- عند درجة حرارة الغرفة هناك طوران هما فريت (ferrite) أما الطور الآخر فهو (Fe_3C) وهو غني بالكربون ويسمى سيمنتيت (Cementite) أو في بعض الأحيان يسمى كربيد (Carbide) ونسبة الكربون فيه 6.7% وهي اقصى نسبة كربون يمكن إذابتها في الحديد.
- طور الفريت به نسبة قليله جداً من الكربون وتركيبة البلوري (الخلية الوحدية له) هو BBC وعند تسخينه يحدث له تغير إلى الطور الأوستنيت (Austenite) وإذا اعتبرنا الحديد النقي ، فإن هذا التغير يحدث عند درجة حرارة 911 درجة مئوية وهذا الطور الأوستنيت له تركيب بلوري FCC.
- يتحول الحديد النقي مرة ثانية من الأوستنيت إلى طور يسمى فريت عند درجة حرارة 1401 درجة مئوية ويعود هذا الطور مرة أخرى إلى التركيب البلوري BCC. تسمى هذه العملية بالبولي مورفيسم (Polymorphism) ويعرف البولى مورفيسم بأنه قابلية المادة بالتواجد بأكثر من تركيب بلوري.
- الكربون يعتبر كمذاب في الحديد وهو يكون كذرة غريبة مقحمة (شوائب) . الأماكن التي تجدها ذرات الكربون كذرات مقحمة في ال FCC أكثر من ال BCC) رغم أن معامل الازدحام في ال FCC أكثر من الـ (BCC وهذا يعلل أن نسبة الكربون في الأوستنيت (FCC) أكبر من نسبة الكربون في الفريت (BCC)
- لأن الطور فريت هو طور مستقر عند درجات حرارة عالية جداً لذلك فإنه ليست له قيمة عملية.
- من ناحية الخواص الميكانيكية فالسيمنتيت (كربيد) صلب جداً وقصف جداً وتتحسن خواص الصلب بإضافة نسب منه.
- في الشكل الموضح نلاحظ أن هناك ثلاث نقاط ثلاثية الأطوار:

1- نقطة يوتيكتيك عند تركيب 4.3% كربون ودرجة حرارة 1147 درجة مئوية.
2- نقطة يوتيكتويد عند تركيب 0.8% ودرجة حرارة 723 درجة مئوية.
3- نقطة بريتكتيك عند تركيب 0.18% ودرجة حرارة 1493 درجة مئوية.

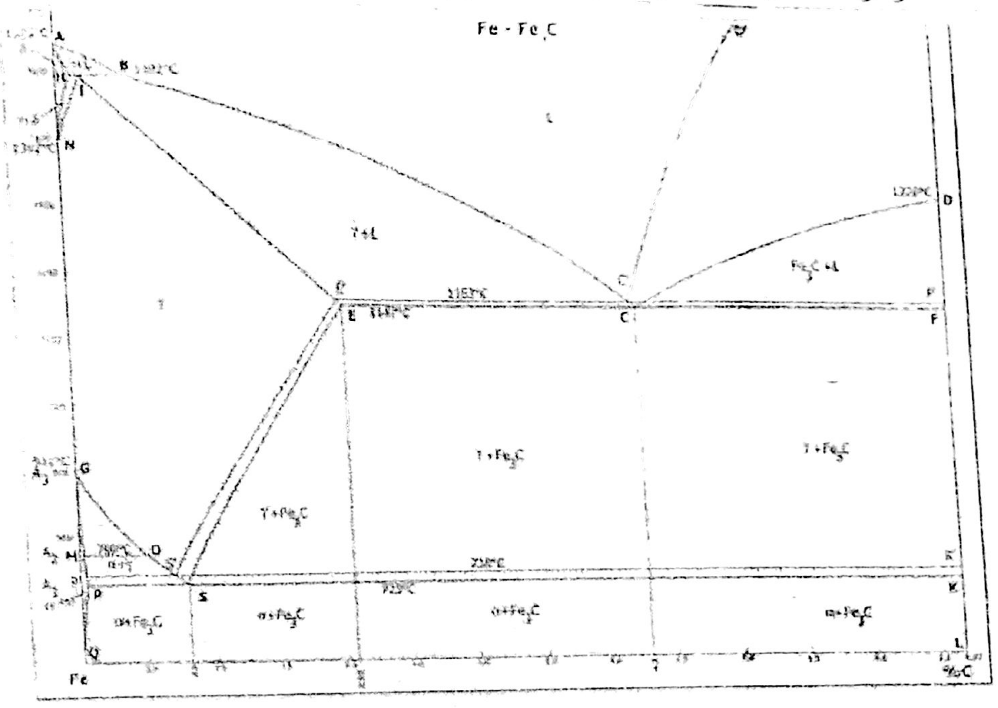
اذا مخطط الحديد والكربون أو مخطط أطوار الحديد والكربون (بالإنجليزية: Iron-carbon phase diagram)

توجد في سبائك الحديد (وهي الفولاذ و الحديد الزهر) دائما نسبة صغيرة من الكربون ، وهي التي تحدد خصائص الفولاذ وخصائص الحديد الزهر . ومخطط أطوار الحديد والكربون هو رسم بياني يبين أطوار الحديد والتوازن بينها كمخطط ثنائي للحديد والكربون . وهو يبين اعتماد الأطوار الناتجة للحديد على درجة الحرارة وعلى كمية الكربون الموجودة في كل طور .

يشكل الكربون أهم الاضافات التي تدخل في صناعة سبائك الحديد، واي تغير في نسبة الكربون وإن كانت صغيرة فيها تأثير كبير على صفات سبيكة الحديد. ويقل ما نستنتجه من مخطط الحديد والكربون كلما كانت سرعة التبريد أو التسخين عالية ، أو كلما زادت نسبة المواد المكونة للسبيكة

يمثل مخطط الحديد والكربون في شكلين: نظام شبه المستقر (حديد - كربيد الحديد) (Fe₃C -Fe) وفيه يكون الكربون مرتبطا كذرات في البنية الحديدية، ونظام مستقر (Fe-C) يكون الكربون فيه حبيبيا في هيئة جرافيت . وفي التقنية العملية يستخدم عادة النظام Fe$_3$C-Fe المستقر

مخطط أطوار الحديد والكربون:



مخطط أطوار الحديد والكربون

تقسيمات تقريبية:

يبين المحور الأفقي نسبة الكربون في الحديد (النسبة الكتلية) ، ويبين المحور الرأسي درجة الحرارة. ويوضح هذا الرسم البياني نسب الكربون في الحديد بين 0 - 6,67 % وهي المهمة عمليا (ولا يوجد سبائك حديد بنسب كربون أعلى من ذلك سوى كسبائك أولية) ، عندما تكون نسبة الكربون 6و67 % أو أكبر فهي تشكل سبيكة سمنتيت ، أحد أنواع سبائك الحديد.

توصل الخطوط في المنحنى بين نقاط تثبت فيها درجة الحرارة وتفصل الخطوط أطوار الحديد عن بعضها البعض . بعض النقاط المهمة تميز بحروف كتابية ، وفي بعض الرسوم البيانية يرمز للنقطة I بدلا من J .

يبين الخط ABCD الحد الفاصل بين الحالة السائلة والحالة الصلبة ، حيث تكون السبيكة في درجات حرارة أعلى منه في الحالة السائلة . والخط AHIECF يمثل الحد الفاصل للطور الصلب ، وتحت هذا الخط تتصلب السبيكة . وبين هذين الخطين تكون السبيكة في حالة هلامية متكونة من حالة سائلة و حديد دلتا δ و حديد جاما γ و سمنتيت (Fe_3C) في مختلف التركيزات وكمياتها . وعند تبريد السبيكة تحت خط السائل يبدأ التبلور الابتدائي من المصهور.

بسبب خاصية تأصل الحديد تتكون أطوارا مختلفة له تختلف حسب نسبة الكربون الموجودة فيه . ويكوّن الحديد بلورات مختلفة مختلطة δ و γ و α ذات نسب مختلفة من الكربون . ويكون توزيع الذرات في وحدات خلايا مختلفة وأطوال الخلايا البلورية تكون مختلفة أيضا. التسميات التقنية للمخلوطات البلورية هي : δ فريت للمخلوط البلوري δ ، أوستنيت للمخلوط البلوري γ ، و فريت للمخلوط البلوري α.

الأطوار:

- المنصهر: وهو السبيكة السائلة (الحديد والكربون) وتكون السبيكة سائلة كليا فوق خط السيولة . وبين خطي السيولة وخط التصلب تكون السبيكة سائلة جزئيا .
- δ-Ferrit (دلتا فريت): يكون متبلورا في نظام بلوري مكعب مركزي الجسم
- أوستنيت (مخلوط بلوري γ): يكون متبلورا في نظام مكعب مركزي الوجه
- α-Ferrit (فريت ألفا): نظام بلوري مكعب مركزي الجسم
- غرافيت (نظام مستقر) أو سمنتيت (C_3Fe؛ نظام شبه مستقر)

في البرليت وفي الليديبوريت فهما لا يشكلان أطوارا نقية وإنما بنيتهما عبارة عن مخلوطات أطوار . وهما ينشأن في أنظمة مستقرة أو شبه مستقرة عند تبريدهما ببطء. ومن وجهة أخرى ينشأ عند التبريد السريع (مثل السقاية في الماء) للأوستنيت فيتحول إلى مارتنسيت. المارتنسيت له بنية شديدة الصلابة ويكون هشا.

يوجد للنظام شبه المستقر نقاط ، وخطوط ، وظواهر خصوصية:

- نقاط خصوصية: نسبة الكربون ودرجة الحرارة عند كل نقطة من المخطط:

A: (0 % carbon /1536 °C) , B: (0,5 %/1493 °C) , C: (4,3 %/1147 °C) ,
D: (6,67 %/1320 °C) , E: (2,06 %/1147 °C) , F: (6,67 %/1147 °C) ,
G: (0 % / 911 °C) , H: (0,1 %/1493 °C) , I: (0,18 %/1493 °C) ,
K: (6,67 %/723 °C) , N: (0 %/1401 °C) , P: (0,025 %/723 °C) ,
S: (0,83 %/723 °C) , Q: (0,008 %/20 °C) , M: (0 %/769 °C) ,
S': (0,69 %/738 °C) , E': (2,03 %/1153 °C) , C': (4,25 %/1153 °C)

- خطوط خصوصية:

خط السيولة: A-B-C-D خط التصلب: A-H-I-E-C-F

Eutektikale: E-C-F Eutektoide: P-S-K Peritektikale: H-I-B

- ظواهر خصوصية:

  - Eutektikum يوتيكتيكة : bei 1147 °C % 4,3 (النقطة C)
  - Eutektoid يوتيكتويد : bei 723 °C % 0,8 (النقطة S)
  - Peritektikum بريتيكتيكة : bei 1493 °C % 0,18 (النقطة I)

Scanned by CamScanner

... وكما هو موضح في الشكل (2-24) مخطط التوازن الحراري بين عنصري الحديد والكاربون لغاية 6.67% كربون وهي النسبة العملية لهذه السبيكة حيث يتكون الكاربون الحر (الغرافيت) أو المركب الكيمياوي كربيد الحديد Fe_3C . ولغرض تسهيل دراسة هذا المخطط سنجزئه الى ثلاثة أجزاء وحسب درجات الحرارة.

الجزء الخاص بالتفاعل البريتكتيكي:

ويتكون هذا الجزء عند درجة حرارة 1493 °م كما موضح في الشكل (2-24) فاذا أخذنا سبيكة تحتوي على 0.18% كاربون سيحدث التجمد عند درجات الحرارة مابين (1518 – 1497) °م حيث يتكون الطور δ ، وعند درجة 1443 °م يوجد هذا الطور والسائل بالمقادرين الآتيين:

$$\text{الطور } \delta = \frac{0.18-0.5}{0.1-0.5} \times 100\% = 80\% \text{ محلول جامد}$$

$$\text{الطور السائل} = \frac{0.1-0.18}{0.1-0.5} \times 100\% = 20\% \text{ محلول سائل}$$

ويحدث التفاعل الحولي في درجة حرارة 1493 °م وحسب المعادلة الآتية:

$$\delta_{0.1\%C} + L_{0.5\%C} \xrightarrow{1493^\circ C} \gamma_{0.18C}$$

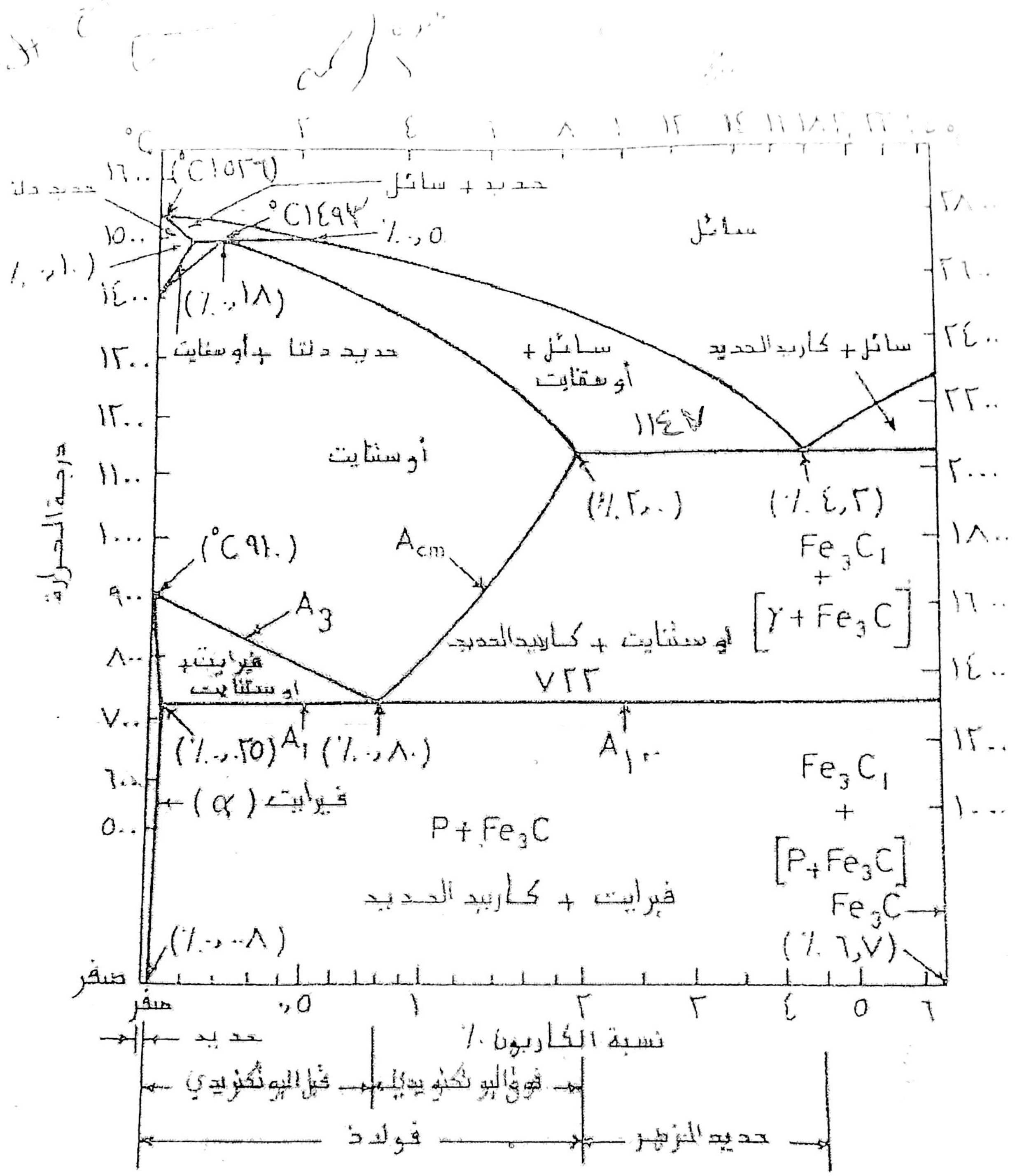
أي سنحصل على الطور الجديد (γ) بتركيب 0.18% كاربون من تفاعل السائل الذي يحتوي على 0.5% كاربون مع الطور δ الحاوي على 0.1% كاربون.

اما السبيكة الحاوية على 0.14% كاربون فاننا سنحصل على (δ) عند التبريد البطيء من الحالة السائلة الى درجة حرارة 1496 °م ، ويحتوي النظام على 10% سائل تركيبه 0.5% كاربون و 90% محلول جامد من (δ) بتركيب 0.1% كاربون. ويتفاعل جميع السائل مع جزء من δ لنحصل على الطور (γ) في درجة حرارة التفاعل الحولي 1493 °م في ظروف التبريد المتوازن. ويتكون الناتج عند درجة حرارة مباشرة تحت 1493 °م من الطور (δ) بتركيب 0.1% كاربون مع الطور (γ) بتركيب 0.18% كاربون، وعند الهبوط بدرجة الحرارة فإن الطور (δ) سيختفي ليظهر بدلا منه الطور (γ).

اما السبيكة الحاوية على 0.34% كاربون فانها تتألف من الطور (δ) والسائل عند درجة 1497 °م ويكون 60% منه سائلا والباقي من طور (δ) الجامد.

وعند درجة الحرارة 1493 °م يتفاعل جزء من السائل مع كل من الطور (δ) لإنتاج طور (γ) بتركيب 0.18% وذلك عندما يكون التبريد متزنا، ويتكون الناتج عند درجة حرارة دون 1493 °م بقليل من نصفين نصف من الطور السائل ونصف من الطور (γ)، ثم يختفي الطور السائل ليظهر بدلا منه الطور (γ) عندما تهبط درجة الحرارة.

Scanned by CamScanner



الشكل (٢ - ٢٤) الاتزان الحراري للحديد - كربون

Scanned by CamScanner

لقد لاحظنا بصورة عامة ان الطور (δ) وهو محلول جامد من الحديد والكاربون، ونسبة الكاربون فيه لاتتعدى 0.1% وقد تكون في درجات حرارية ما بين 1536 °م – 1401 °م.

$[\delta - Fe (c), C \leq 0.1\% , T^{o} (1401\text{-}1538)]$

2. **الجزء الخاص بالتفاعل اليوتكتيكي :-**

أ. **سبيكة قبل اليوتكتك :**

اذا تأملنا سبيكة تحتوي على 3% كاربون بردت من درجة 1370 °م فسنلاحظ حسب الشكل (2–24) أن الطور (γ) يبدأ بالتجمد عند درجة 1300 °م ويستمر بالتجمد حتى تصل درجة الحرارة الى 1147 °م . وعند هذه الدرجة يكون تركيب السبيكة 50% طور صلب من (γ) و 50% طور ذو تركيب يوتكتك [$\gamma + Fe_3C$] الذي ندعوه باللديبيوريت (Led).

$$\gamma + L \xrightarrow{1147\ ^{o}C} \gamma + [\gamma + Fe_3C]$$

وعليه فان البنية عند هذه الدرجة تتكون من 85.1% من الطور (γ) ذو التركيب اليوتكتويدي (0.8% كاربون) و 14.9% من السمنتايت Fe_3C.

ان الطور (γ) ذا التركيب اليوتكتويدي سرعان ما يتحول الى الخليط اليوتكتويدي عند درجة 723 °م مكونا بنية من الطور ألفا (α) والسمنتايت Fe_3C وبنسب 88% و12% على التوالي.

ونجد هذا واضحا في مخطط الشكل (2–24) ويتكون هنا الطور (γ) قبل أن يتكون اليوتكتك، وهو طور يحتوي على 2% كاربون، وعندما تنخفض درجة الحرارة وببطىء من 1147 °م فان قابلية ذوبان الكاربون في (γ) ستقل وحسب الخط Acm بحيث تصبح النسبة 0.8% كاربون عند درجة الحرارة 723 °م تقريبا،

ب. **سبيكة اليوتكتك :**

اذا تأملنا اليوتكتك الحاوية على 4.3% كاربون عند درجة حرارة 1147 °م فسنلاحظ أن هذه السبيكة ستتحول الى خليط يوتكتيكي فيه 47.7% من الطور (γ) اليوتكتيكي و 52.3% من السمنتايت وحسب المعادلة

$$L \xrightarrow{1147\ ^{o}C} [\gamma + Fe_3C]$$

Scanned by CamScanner

[illegible] (γ) [illegible] هذه الارضية [illegible]
[illegible] هذه النسبة [illegible] درجة الحرارة لتصبح 0.8% كاربون عند درجة 723 °م تقريبا.

وسرعان ما يتحول الطور (γ) ذو التركيب اليوتكتويدي (0.8% كاربون) عند درجة 723 °م الى الخليط اليوتكتويدي مكونا بنية من الطور ألفا (α) والسمنتايت $[\alpha + Fe_3C]$ والذي ندعوه بالبيرلايت p

ج. سبيكة فوق اليوتكتك :-

عند تبريد السبائك المحتوية على نسب بين 4.3%-6.67% من الكاربون فان بنيتها ستتكون من سمنتايت أولي Fe_3C_I وسائل عند درجات حرارة أعلى من 1147 °م ، أما عند هذه الدرجة فان البنية ستتكون من السمنتايت الأولي وخليط يوتكتيكي الليديبيوريت $[\gamma + Fe_3C]$

$$Fe_3C_I + L \xrightarrow[\text{تفاعل يوتكتيكي}]{1147\,^{\circ}} Fe_3C_I + [\gamma + Fe_3C]$$

فالسبيكة الحاوية على 5% كاربون مثلا ستتكون بعد التجمد عند درجة 1147 °م من خليط يوتكتيكي بنسبة :

$$\%70.46 = \%100 \times \frac{5-6.67}{4.3-6.67}$$

ومن السمنتايت الأولي بنسبة :

$$\%29.54 = \%100 \times \frac{4.3-5}{4.7-6.67}$$

أما عند درجة 723 °م فان بنية السبيكة ستتكون من Fe_3C_I الأولي وخليط يوتكتويدي من $[\alpha + Fe_3C]$. لقد لاحظنا في الجزء الخاص بالتفاعل اليوتكتيكي ظهور المركب الكيمياوي Fe_3C_I وهو مركب صلد يتكون من إتحاد الحديد مع الكاربون، ويوجد أما بصورة منفصلة على شكل شبكة في مناطق حدود الحبيبات او ان يدخل في تركيب الخليط اليوتكتويدي (البيرلايت). ولاحظنا كذلك ظهور الطور (γ) وهو محلول جامد من الحديد والكاربون تكون نسبة الكاربون فيه لاتتعدى 2% ويظهر في درجات حرارية مابين 1400 - 910 °م ، وقد اتفق على تسميته حديد كاما او حديد الاوستنايت نسبة للعالم روبرت أوستن.

Scanned by CamScanner

الجزء الخاص بالتفاعل اليوتكتويدي :

يعرف اليوتكتويد بانه مزيج ميكانيكي متلاحم يتكون من طورين او اكثر وله تركيب معين ودرجة حرارة تحول معينة في الحالة الصلبة. واليوتكتويد الخاص بنظام الحديد - الكاربون يتكون عندما تكون نسبة الكاربون 0.8%، ويتكون اثناء التبريد في ظروف الاتزان وعند درجة 723 °م، ويتكون من مزيج ميكانيكي متعاشق من الفرايت والسمنتيت على شكل شرائح ويظهر تحت المجهر على شكل يشبه اللؤلؤ لذا أطلق عليه الشكل اللؤلؤي (بيرلايت) شكل (2-25أ)، فالسبائك التي تحتوي على نسبة من الكاربون أقل من 0.8% (سبائك قبل اليوتكتويدي) تتجمد على النمط الذي ذكرناه في الجزء الخاص بالتفاعل الحولي من مخطط الحديد - الكاربون، حيث يتكون الطور (γ) عند درجة حرارة 1400 °م تقريبا. وباستمرار التبريد فانه لا يلاحظ تغيير طوري حتى نصل الى الخط A_3 وعنده تظهر منطقة ذات طورين هما الطور α والطور γ ، وعليه فان α يبدأ بالتكون عند درجة الحرارة المناظرة لهذا الخط، ويستمر بالتكون حتى تصل درجة الحرارة الى 723 °م حيث يتحول الطور (γ) المتبقي الذي يحتوي على 0.8% كاربون الى خليط يوتكتويدي من $[\alpha + Fe_3C]$ الذي ندعوه البيرلايت،

واذا استمرت عملية التبريد فلن يكون هناك تحول آخر باستثناء احتمال انفصال بعض من السمنتايت الثالث Fe_3C_{III} من الفيرايت α لان ذوبان الكاربون في الفيرايت يتناقص من 0.025% كاربون الى 0.0025% كاربون في درجة حرارة المختبر وعليه فان البنية المتكونة لهذه السبائك هي عبارة عن فيرايت + برلايت كما موضح في الشكل (2-25أ).

اما السبائك الحاوية على اكثر من 0.8% كاربون كما في الشكل (2-25ب) (سبائك فوق اليوتكتويدي) فانها ستتجمد حسب النمط الآتي:

تنفصل بلورات من الطور (γ) أولا عند بلوغ الحرارة المناظرة لخط السيولة، وعند بلوغ درجة الحرارة المناظرة لخط الانجماد يستكمل بقية المنصهر تجمده مكونا المحلول الجامد من الطور (γ) الاوستنايت، وباستمرار عملية التبريد فانه لايلاحظ حدوث أي تغيير طوري حتى تصل درجة الحرارة الى الخط Acm وعنده تظهر منطقة تحتوي على السمنتايت الثانوي Fe_3C_{II} والطور (γ) شكل (2-25ب) ومع انخفاض درجة الحرارة 723 °م فان المتبقي من الطور (γ) الذي يحتوي على 0.8% من الكاربون سوف يتحول الى الخليط اليوتكتويدي $[\alpha + Fe_3C]$ وحسب المعادلة الآتية:

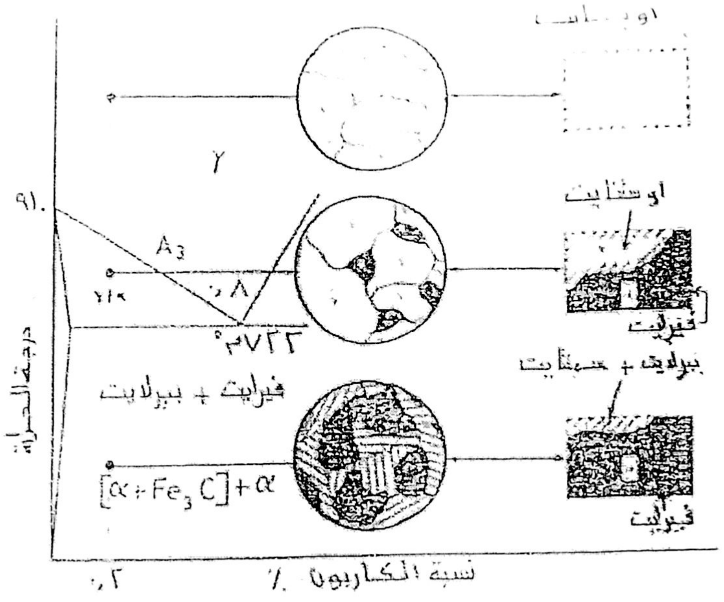
$$\gamma + Fe_3C_{II} \xrightarrow{723^oC} Fe_3C_{II} + [\alpha + Fe_3C]$$

ان الطور α الذي ظهر في هذا الجزء من المخطط هو سبيكة من الحديد والكاربون لاتتعدى فيه نسبة الكاربون 0.025% ويظهر في درجات حرارية أقل من 910 °م ، وقد اتفق على تسميته الطور الفا او بحديد الفيرايت نسبة للعالم فيري.

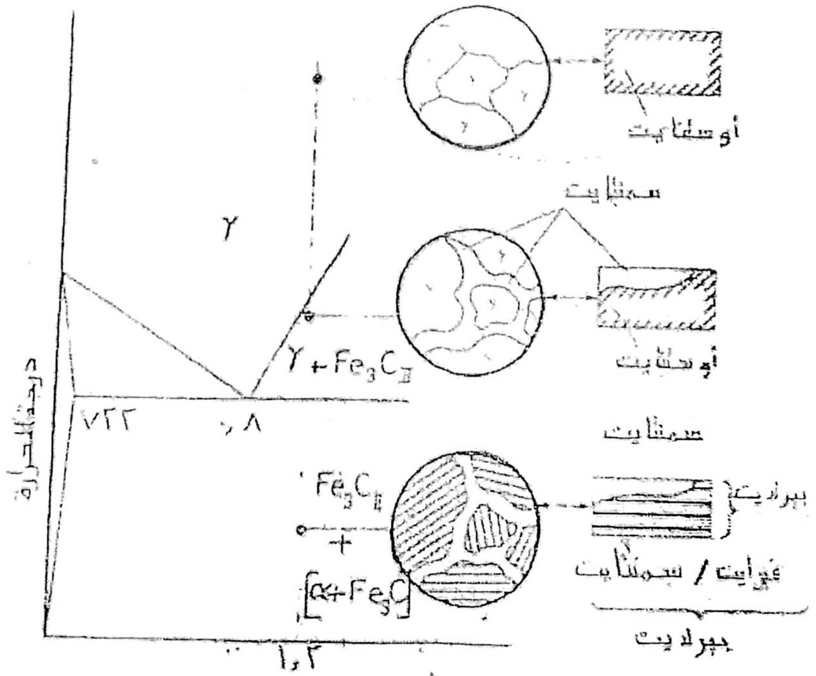
اما البيرلايت فهو بنية يوتكتويدية تحتوي على طبقات رقائقية متعاقبة من الفيرايت (α) والسمنتايت Fe_3C ، ويحتوي البيرلايت على نسبة من الكاربون مقدارها 0.8%، وهو يتكون من تحول الاوستنايت (γ) الى فيرايت وسمنتايت حسب المعادلة الآتية:

$$\gamma \xrightarrow{723^oC} [\alpha + Fe_3C]$$

Scanned by CamScanner



الشكل (2-25أ) مخطط الحديد – الكاربون لسبيكة تحتوي على 0.3 %كربون



الشكل (2-25ب) مخطط الحديد – الكاربون لسبيكة تحتوي على 1.2 %كربون

Scanned by CamScanner

مثال (1) :-

فولاذ قبل اليوتكتويدي يحتوي على 0.3% كاربون وتتركب بنيته من α والخليط اليوتكتويدي $[\alpha+Fe_3C]$، المطلوب تحديد كمية α والخليط اليوتكتويدي لهذا الفولاذ. [يمكن اهمال احتواء الفيرايت على الكاربون بنسبة 0.025% في الحسابات العملية].

الحل :-

بالاستعانة بالشكل (2-25 أ) وبتطبيق قاعدة الذراع نحصل على :

$$\%62.5 = \%100 \times \frac{0.3-0.8}{\text{صفر}-0.6} = \alpha$$

$$\%37.5 = \%100 \times \frac{\text{صفر}-0.3}{\text{صفر}-0.8} = [\ \alpha + Fe_3C\ ]$$

مثال (2): -

تتركب بنية الفولاذ فوق اليوتكتويدي المحتوي على 1.2% كاربون من $[\ \alpha + Fe_3C\ ]$ والسمنتايت الثانوي المطلوب تحديد كمية $[\ \alpha + Fe_3C\ ]$ وكمية السمنتايت الثانوي .

الحل :-

بالاستعانة بالرسم (2-25 ب) وبتطبيق قاعدة الذراع نجد ان :

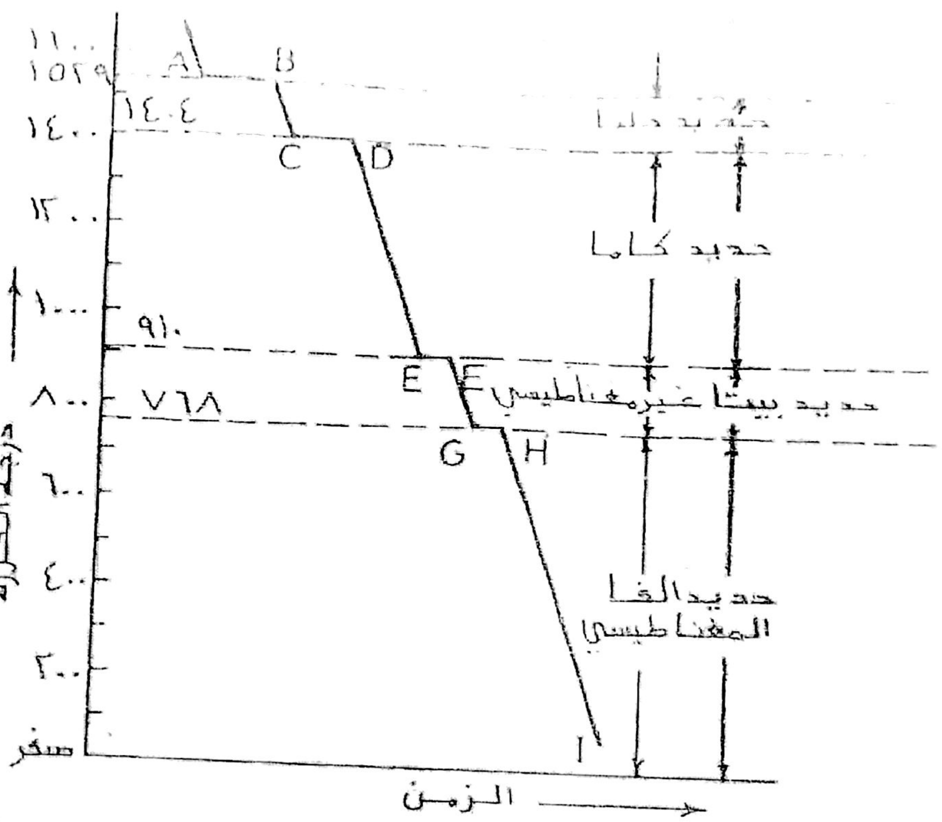
$$\%93.18 = \%100 \times \frac{1.2-6.67}{0.8-6.65} = [\ \alpha + Fe_3C\ ]$$

$$\%6.82 = \%100 \times \frac{0.8-1.2}{0.8-6.67} = Fe_3C$$

2-9-7-1 تأصل الأطوار في الحديد :-

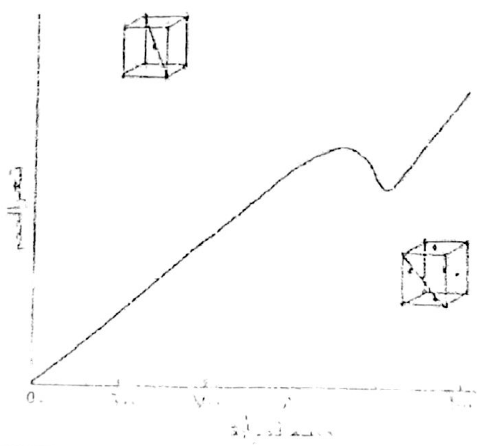
تتغير الشبكة البلورية للمعدن مع تغير درجات الحرارة، وتحدث هذه الظاهرة لبعض المعادن مثل الحديد. ويتخذ الحديد شكل شبكة بلورية من نوع B.C.C (متمركز الجسم) في درجة حرارة المرتفعة وحتى درجة 1400 ^{o}م حيث يعيد بناء نظامه الداخلي ويعدله الى شبكة بلورية نوع F.C.C (متمركز الوجه)، ويستمر كذلك حتى درجة حرارة 910 ^{o}م حيث نجده يغير هذا النظام مرة اخرى ويعود الى الشبكة البلورية B.C.C، ويبقى هذا النسق حتى درجة حرارة المختبر شكل (2-26).

Scanned by CamScanner



الشكل (2-26) منحنى التبريد للحديد النقي

اذا سخنا قطعة من الفولاذ قبل اليوتكتويدي التي تحتوي على نسبة 0.15% كربون ستحدث زيادة في حجمها، وتستمر هذه الزيادة مع ارتفاع درجة الحرارة حتى نصل الى درجة 910 °م حيث تفاجأ بظاهرة غير متوقعة، فعلى الرغم من الاستمرار في تسخين قطعة الفولاذ فانها ستتعرض الى تقلص لحظي شكل (2-27) كما ان درجة حرارة القطعة ستثبت هي الاخرى و لاترتفع لفترة ملحوظة، وبمعنى أخر سيحدث تقلص مفاجيء في الحجم Contraction مع ثبوت درجة الحرارة على الرغم من استمرار انتقال الطاقة الحرارية، وبعد حصول قدر معين من التقلص تعود قطعة الفولاذ و تؤصل الزيادة في الحجم بالمعدل نفسه مع ارتفاع درجة الحرارة، وتستمر هذه الحالة حتى يصل الفولاذ الى درجة 1400 °م حيث نلاحظ حصول تمدد لحظي وان درجة حرارة القطعة ستثبت ولاترتفع في تلك اللحظة شكل (2-28)

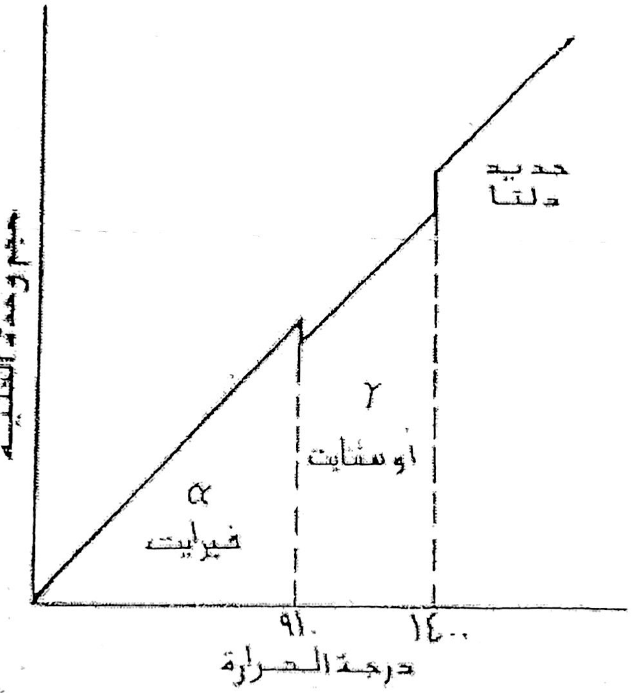


الشكل (2-27) تغير الحجم مع درجة الحرارة للفولاذ 0.15% كربون

Scanned by CamScanner

وبعد حصول قدر معين من التمدد، تعود قطعة الفولاذ وتستمر بزيادة حجمها بالمعدل نفسه حتى يصل الفولاذ الى مرحلة الانصهار. ومع التبريد البطيء لقطعة الفولاذ من حالة الانصهار الى درجة حرارة الغرفة نجد ان الخطوات نفسها ستتكرر ولكن بنظام عكسي، والاختلاف الوحيد هنا هو ان التغيير الفجائي في الحجم سيحدث في هذه الحالة عند درجة حرارة منخفضة بعض الشيء عن تلك التي حدث عندها اثناء التسخين.

ان التقلص المفاجىء للفولاذ على الرغم من مواصلة تسخينه يعني ان هذا الفولاذ يستوعب قدرا ملحوظا من الطاقة الحرارية، وقد استغلت هذه الطاقة في تغيير البنية الداخلية، أي في اعادة الترتيب الذري من B.C.C الى F.C.C .



الشكل (2–28) تأصل الاطوار فى الفولاذ

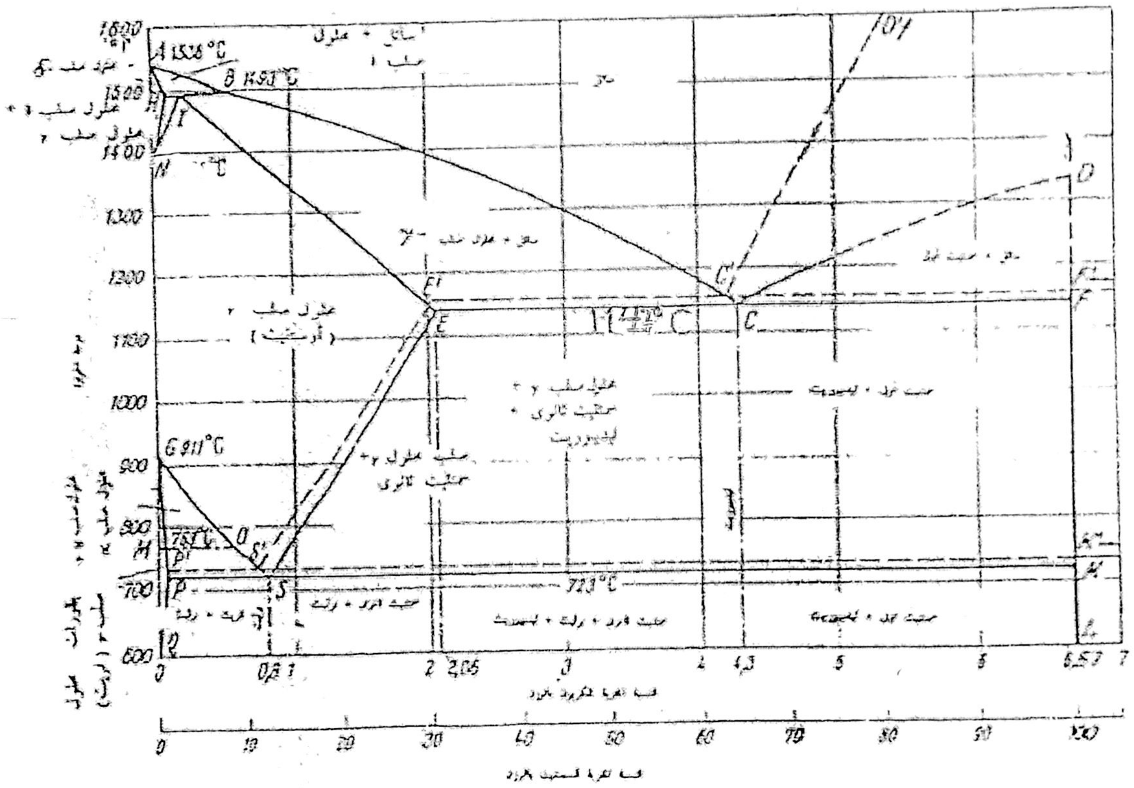
اما الفولاذ الذي يحتوي على نسبة اكثر من 0.8% كاربون (فوق اليوتكتويدي) فانه يتعرض الى التقلص المفاجىء نفسه الذي يمثل التحول الداخلي للذرات من نظام B.C.C الى نظام F.C.C ، الا انه وبعد الأنتهاء من مرحلة التقلص تبدأ الزيادة في الحجم مرة اخرى ولكن بمعدل يقل قليلا عن معدل الزيادة في الحجم الأصلي، ويستمر هذا الحال حتى الوصول الى درجة حرارة معينة نلاحظ بعدها رجوع معدل الزيادة في الحجم الى وضعه الأصلي حيث يبقى كذلك حتى يدخل مراحل التلدين والانصهار.

ان المشاهدات والاستنتاجات التي نحصل عليها من هذه التجارب تفيدنا في التعرف على التراكيب المجهرية ومتابعة التغيرات التي تحدث في البنيان الداخلي لقطعة الفولاذ مع ارتفاع درجة حرارتها.

Scanned by CamScanner

9-2 مخطط التوازن المستقر وشبه المستقر للحديد والكربون

... التركيب الداخلي المكون من الحديد و الكرافيت من اثنت صور سبائك الحديد مع الكاربون، فاننا نستطيع ان نسمي نظام الحديد – الكرافيت النظام المستقر (الخطوط المتقطعة في الشكل (2-30)، والنظام شبه المستقر للسبائك بين الحديد – وكربيد الحديد (السمنتايت) (الخطوط المتصلة من الشكل نفسه) وذلك لامكانية السمنتايت عطاء كاربون هو (كرافيت). ومن ملاحظة الشكل الكامل يمكن فهم صور السمنتايت المختلفة، فالبناء الداخلي للسمنتايت هو نفسه في كل الحالات عدا إختلاف في الحجم و الشكل الخارجي فقط. فالسمنتايت الأولي ينفصل بصورة مباشرة من السبيكة المنصهرة على يمين النقطة C، وينفصل السمنتايت الثانوي في الحالة الصلبة عند درجة حرارة مابين 1147 °م -723 °م وبتراكيب 2% - 0.8% كاربون وعلى يمين الخط ES من بلورات المحلول الصلب (γ) (الأوستنايت)، أما السمنتايت الثالث فانه ينفصل تحت درجة حرارة 723 °م من بلورات α (الفيرايت) وبتراكيب من 0.025% - 0.0025% كاربون.



الشكل (2-30) النظام المستقر و شبه المستقر للسبائك الحديد – و الكربون

2-10 الفولاذ (الصلب) Steel :-

يطلق اصطلاح الفولاذ (الصلب) على السبيكة الحاوية على الحديد مع نسبة من الكاربون لاتتجاوز 2% كربون كما في الشكل (2-31). ويمكن تقسيم الفولاذ الى نوعين اساسيين هما: الفولاذ الكربوني و الفولاذ السبائكي.

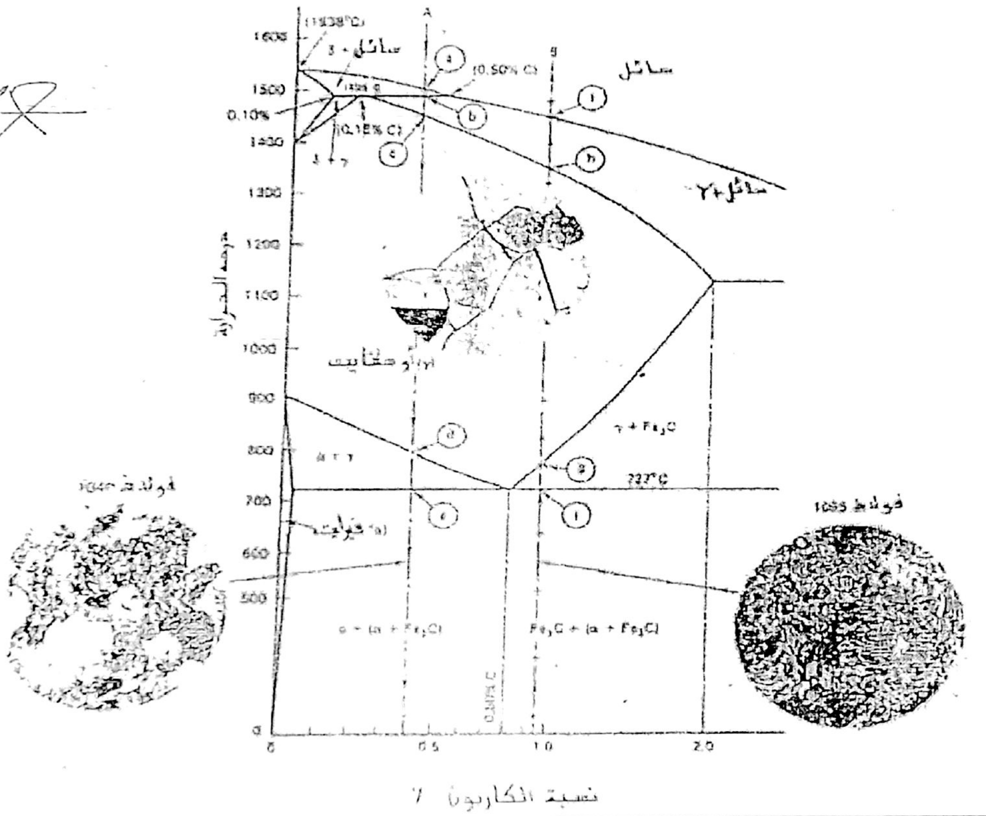
1. الفولاذ الكربوني:- وهو الفولاذ الذي يلعب فيه الكاربون دورا أساسيا في تحديد خواصه وبنسبة لاتتجاوز 1.4% كاربون.

• هنالك اربعة أنواع من هذا الفولاذ هي :

Scanned by CamScanner

أ. الفولاذ المنخفض الكاربون، ويحتوي على نسبة أقل من 0.35% كاربون، ويمتاز بالمطيلية العالية عند تشكيله على الساخن لذا لديه قابلية جيدة على الخراطة. ويمكن تقسيم هذا الفولاذ الى نوعين، النوع الأول ويسمى الفولاذ الطري الهامد Dead Mild Steel ويحتوي على نسبة من الكاربون ما بين 0.05% الى 0.15% كاربون، وتصنع منه الشرائط المدرفلة على الساخن لغرض الكبس والقضبان والأسلاك في صناعة المسامير، اما النوع الثاني فهو الفولاذ الطري Mild Steel ويحتوي على 0.1% - 0.3% كاربون، وهذه النسبة من الكاربون كافية للحصول على سطوح صلدة بالكربنة ليصبح بالامكان الجمع بين سطوح ذات مقاومة بلى (Wear) عالية وخواص

لب متينة، ويستخدم هذا النوع من الفولاذ في الصناعات الأنشائية بسبب مقاومته العالية ومطيليته المنخفضة.



الشكل (2-31) مخطط الفولاذ A – سبيكة قبل اليوتكتك B – سبيكة فوق اليوتكتك

ب. فولاذ متوسط الكربون، ويحتوي على نسبة من الكاربون ما بين 0.35% - 0.6% كاربون ويمكن تصليده كليا بالاخماد والمراجعة ليعطي مقاومة جيدة جدا ومتانة عالية.

جـ. فولاذ عالي الكاربون، ويحتوي على نسبة من الكاربون ما بين 0.6% - 0.8% كاربون، وهذه النسبة العالية من الكاربون تساعد هذا النوع من الفولاذ على معاملته حراريا لتحسين خواصه.ويستعمل هذا النوع في صنع عجلات السكك الحديد والأسلاك ذات المقاومة العالية مثل أوتار البيانو واسلاك الخياطة واسلاك النوابض.

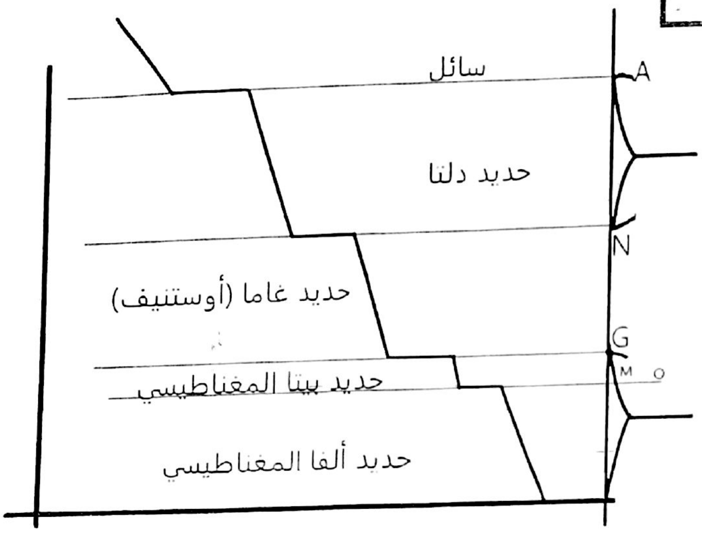
Scanned by CamScanner

د.حسن هدلة

علم المواد

RBOHAMAK

سؤال: ارسم مخطط التبريد للحديد النقي:

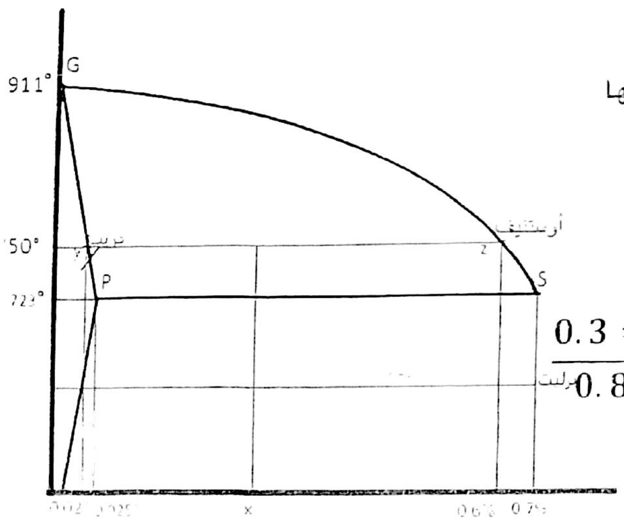


مسألة 1 :

خليطة من الفولاذ الهيبويوتكتويدي نسبة الفريت فيها 30% المطلوب :

1. ما هي نسبة الكربون في هذه الخليطة
2. ما هي عناصر البنية بالخليطة
3. ما هي الأطوار المشكلة لهذه الخليطة و ما نسبها
4. رفعنا درجة الحرارة إلى 750° ما هي الأطوار المتشكلة و ما نسبها

الحل:



لحساب نسبة الكربون نطبق قانون العتلة بين

P و **S** و ذلك كما يلي :

$$\frac{0.3 = fer}{0.8 - x} = \frac{0.7 = per}{x - 0.025} = \frac{1}{0.8 - 0.025}$$

و ذلك كما هو موضح بالشكل الجانبي .

بالتعويض نجد $x = 0.0057 = 0.57\%$

و العناصر هي برليت و فريت

ولإيجاد الأطوار نتبع ما يلي:

Scanned by CamScanner

مسائل على المخطط

- عينة من الفولاذ الهيبويوتكتويدي نسبة البرليت فيها 60% ما نسبة الحديد في هذه الخليطة وما عناصر البنية والاطوار المشكلة لهذه الخليطة ومانسبتها؟

- عينة من الفولاذ الهيبويوتكتويدي نسبة الكربون فيها 0.5% ما نسبة الحديد في هذه الخليطة . ماهي عناصر البنية المشكلة لهذه الخليطة وما نسبتها . ماهي الأطوار المشكلة لهذه الخليطة ومانسبتها؟

- عينة من الفولاذ الهيبريوتكتويدي نسبة البرليت فيها 40% ما نسبة الكربون في هذه الخليطة وما عناصر البنية والاطوار المشكلة لهذه الخليطة ومانسبتها؟

- عينة من الفولاذ الهيبريوتكتويدي نسبة الكربون فيها 1.5% ما نسبة الحديد في هذه الخليطة . ماهي عناصر البنية المشكلة لهذه الخليطة وما نسبتها . ماهي الأطوار المشكلة لهذه الخليطة ومانسبتها؟

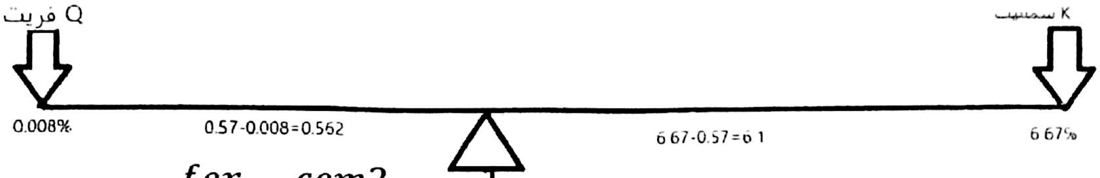
Scanned by CamScanner

من المعروف لدينا سابقا أن البرليت يتكون من الفريت و السمنتيت أي

$Fe_3c+\alpha$ = برليت أي $Fe_3c+\alpha+\alpha$ = الفولاذ

بالتالي علينا الآن حساب نسب الفريت و السمنتيت في هذه الخليطة :

ولحسابها نطبق قانون العتلة بين النقطة **Q** و امتداد **K** و ذلك كما يلي:



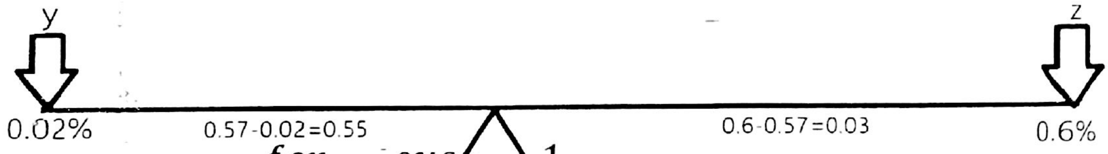
$$\frac{fer}{6.1}=\frac{cem2}{0.562}=\frac{1}{6.662}$$

بالحساب نجد : $fer = 91.5\%$ $\quad cem = 8.5\%$

لحساب الأطوار عند درجة الحرارة °750 نقوم بما يلي :

من الواضح بالمخطط أعلاه أن أطوار هذه المرحلة هي حديد ألفا الفريت + اوستنيت فلحساب نسب تلك الأطوار نطبق قانون العتلة بين نقطتي تقاطع المنحني مع الخط الأفقي المعبر عن درجة حرارة ثابتة و لتكن النقطتان **z** و **y** و لحساب نسب الكربون فيهما نسقط على محور الكربون كما هو موضح بالشكل أعلاه و بتطبيق قانون العتلة علماً أن **x** قد تم حسابها مسبقاً

:



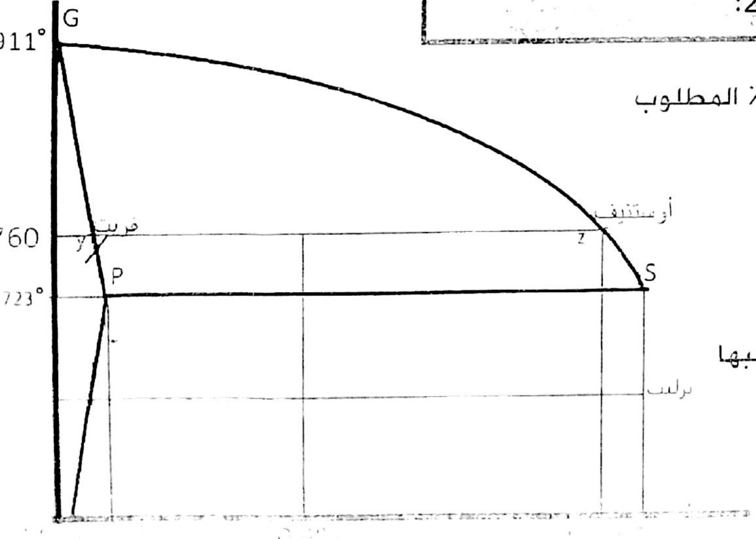
$$\frac{fer}{0.03}=\frac{ous}{0.55}=\frac{1}{0.58}$$

بالحساب نجد : $ous = 0.9483 = 94.83\%$

$$fer = 0.0517 = 5.17\%$$

لاحظ أن مجموع نسب الفريت و الأوستنيت يساوي**100%**

مسألة2:



خليطة من الفولاذ الهيبويوتكتويدي نسبة الكربون فيها **0.4**٪ المطلوب

ما نسبة الحديد في هذه الخليطة

ما هي عناصر البنية المتشكلة و ما نسبها

ما هي الأطوار المشكلة لهذه الخليطة و ما نسبها

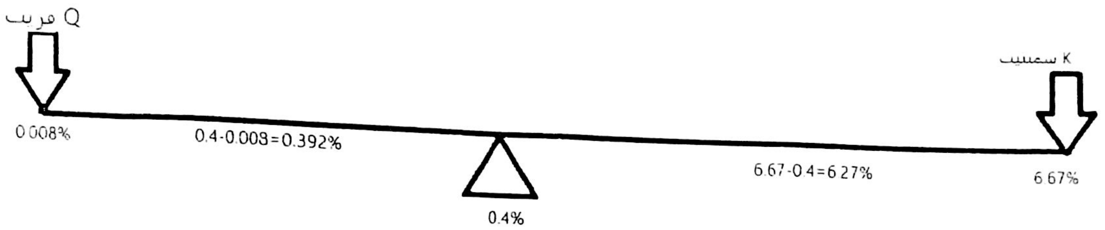
رفعنا درجة الحرارة إلى °750 ما هي الأطوار المتشكلة و ما نسبها

Scanned by CamScanner

الحل:

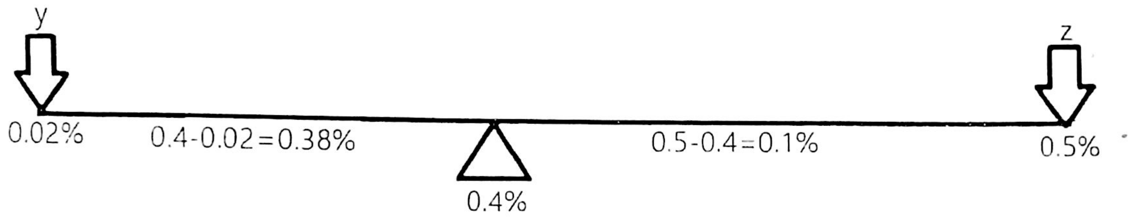
إن الخليطة مكونة من الحديد و الكربون فلذا $Fe+c=100\%$

و بما أن $c=0.4\%$ فإن $Fe=99.6\%$ أما عناصر البنية المتشكلة فهي البرليت و الفريت ويتم حساب النسب بتطبيق قانون العتلة بين النقطتين sوp وذلك كما يلي :



$$\frac{fer}{0.4}=\frac{per}{0.375}=\frac{1}{0.775}$$

بالحساب نجد أن:



$fer=0.51=51\%$ $per=0.49=49\%$

ولإيجاد الأطوار نتبع ما يلي:

من المعروف لدينا مسبقاً أن البرليت يتكون من الفريت + السمنتيت أي

$Fe_3c+\alpha=$ برليت أي $\alpha+Fe_3c+\alpha=$ فولاذ

بالتالي علينا الآن حساب نسب الفريت و السمنتيت في هذه الخليطة :

وذلك كما يلي:نطبق قانون العتلة بين النقطتين Q و امتدادK

$$\frac{\alpha}{6.27}=\frac{cem}{0.392}=\frac{1}{6.662}$$

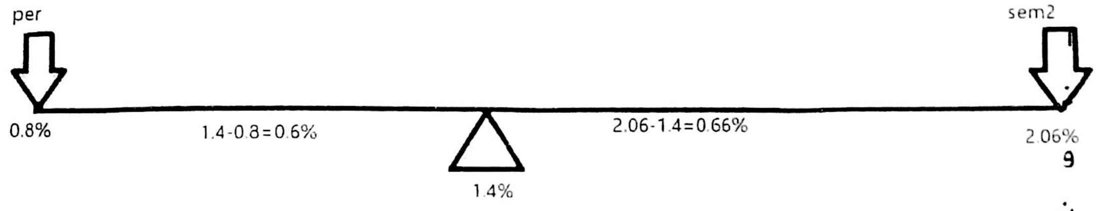
Scanned by CamScanner

بالحساب نجد cem_2 5.89% ، α = 94.11%

لحساب الأطوار عند درجة الحرارة ° 760 نقوم بما يلي :

من الواضح بالمخطط أعلاه أن أطوار هذه المرحلة هي حديد ألفا الفريت + اوستنيت فلحساب نسب تلك الأطوار نطبق

ق



و

ن

العتلة بين نقطتي تقاطع المنحني مع الخط الأفقي المعبر عن درجة حرارة ثابتة و لتكن النقطتان z و y و لحساب نسب الكربون فيهما نسقط على محور الكربون; كما في الشكل أعلاه

$$\frac{fer}{0.1} = \frac{ous}{0.38} = \frac{1}{0.48}$$

بالحساب نجد أن $ous = 79.16\%$ $\qquad$ $fer = 20.83\%$

المسألة 3 :

خليطة من الفولاذ <u>الهيبريوتكتويدي</u> نسبة الكربون فيه **1.4**٪ والمطلوب:

ما نسبة الحديد في هذه الخليطة

ما هي عناصر البنية المتشكلة و ما نسبها

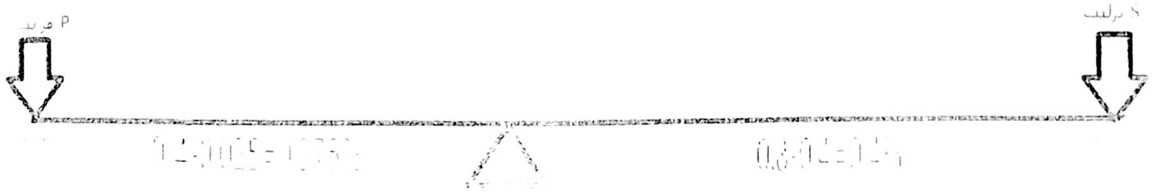
ما هي الأطوار المشكلة لهذه الخليطة و ما نسبها

الحل:

إن الخليطة مكونة من الحديد و الكربون فلذا **Fe+c=100%**

و بما أن **c=1.4%** فإن **Fe=98.6%**

أما عناصر البنية المتشكلة



Scanned by CamScanner

...ي البرليت و السمنتيت

ويتم حساب النسب بتطبيق قانون

العتلة بين النقطتين P و امتداد E وذلك كما يلي :

$$\frac{per}{0.66} = \frac{sem_2}{0.6} = \frac{1}{1.26}$$

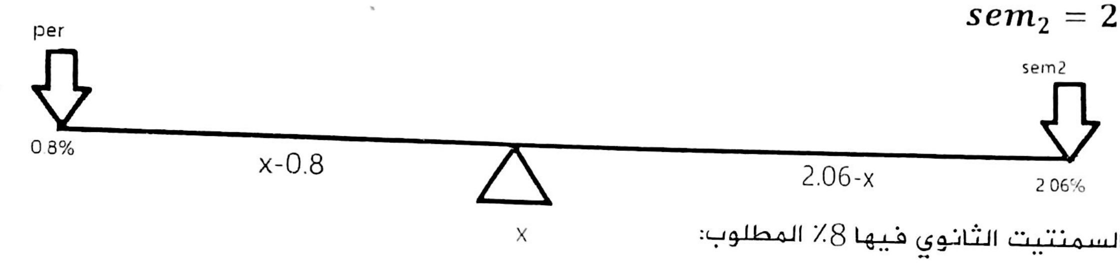
بالحساب نجد أن $per = 52.4\%$ $sem_2 = 47.6\%$

و لحساب الأطوار المشكلة نطبق قانون العتلة بين Q و امتداد K أي

$$\frac{fer}{5.27} = \frac{sem_2}{1.392} = \frac{1}{6.662}$$

بالحساب نجد $sem_2 = 20.89\%$

$fer = 79.11\%$

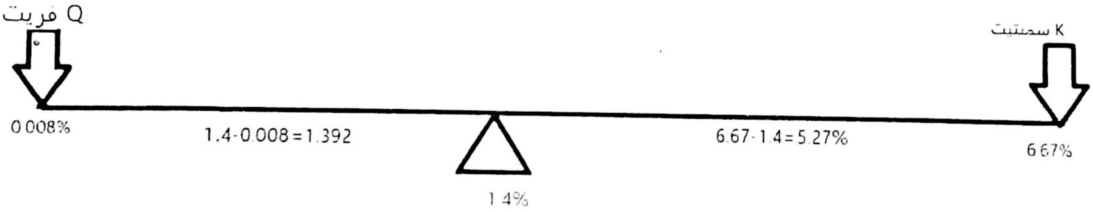


المسألة 4:

خليطة من الفولاذ نسبة السمنتيت الثانوي فيها 8٪ المطلوب:

ما هي عناصر هذه البنية و ما نسبها

ما هي نسبة الحديد في هذه الخليطة و ما نسبة الكربون



ما هي الأطوار المشكلة لهذه الخليطة و ما نسبها

الحل:

إن عناصر هذه البنية هي السمنتيت المساوي لـ 8٪ (من نص المسألة) والبرليت يحسب من $per = 100\% - cem = 92\%$ (إذ أن هذه البنية تحوي هذين العنصرين فقط)

لحساب نسبة الحديد في هذه الخليطة نطبق قانون العتلة بين النقطتين E و النقطة S أي أن

$$\frac{per = 0.92}{2.06 - x} = \frac{sem_2 = 0.08}{x - 0.8} = \frac{1}{1.26}$$

بالحساب نجد أن نسبة الكربون $= x = 0.9\%$

أما بالنسبة للأطوار هي الفريت و السمنتيت و لحساب نسبها في الخليطة نطبق قانون العتلة بين النقطتين Q و امتداد K أي

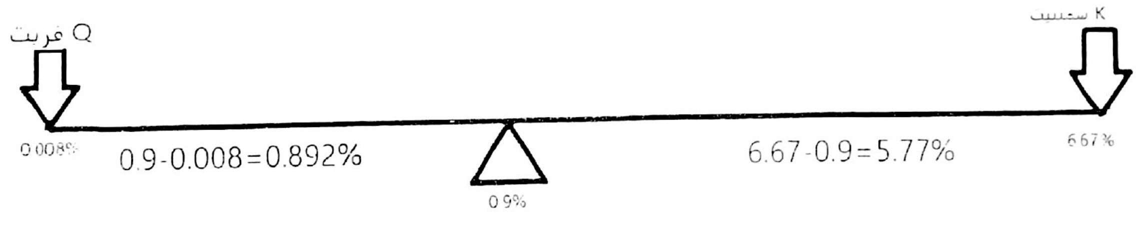
$$\frac{fer}{5.77} = \frac{sem_2}{0.892} = \frac{1}{6.662}$$

بالحساب نجد: $fer = 86.61\%$ $\quad sem_2 = 13.38\%$

مسألة 5:

خليطة من الحديد الصب درجة حرارته 1146° فيها نسبة السمنتيت الأولي 7٪ ما هي الأطوار المشكلة لهذه الخليطة و ما نسبها

الحل: سمنتيت أولي 7٪(من نص السؤال) +ليدي بوريت 93٪ (100٪ - السمنتيت إذ أن هذه البنية تحوي هذين العنصرين فقط) .



Scanned by CamScanner

(19 ← 14) المحاضرات

مصمتة و تتلامس كل ذرة مع أقرب جيرانها من الذرات. في بعض الأحيان تمثل فقط مواقع الذرات بنقاط عند مركز الكرات في منظومة ثلاثية الأبعاد و تسمى هذه المنظومة بالبنية التشابكية.

4-1 الخلية الوحدية

في المواد المتبلورة يمكن تمثيل البنية البلورية عن طريق مجموعة صغيرة من الذرات تتكرر في الأبعاد الثلاثة. تسمى مجموعة الذرات المتكررة هذه الخلية الوحدية و يمكن تشبيه هذه العملية بالجدار المبنى من الطوب. فالجدار يشبه البنية البلورية ككل والطوبة ، و هي الوحدة المتكررة ، تشبه الخلية الوحدية. تعتبر دراسة الخلية الوحدية مفيدة جداً لسببين:

أ) احتوائها على عدد صغير من الذرات و بالتالي يسهل دراستها .

ب) يمكن استخلاص معلومات هامة عن البنية البلورية ككل للمادة من دراسة الخلايا الوحدية .

هناك أنواع كثيرة من الخلايا الوحدية ولكن أهمها بالنسبة للمعادن النظام المكعبى والنظام السداسي للخلايا. معظم المعادن (أكثر من 90%) تحتوي على إحد هذين النظامين النظام المكعبي في المعادن يحتوي عادة على إحدى هذين الخليتين:

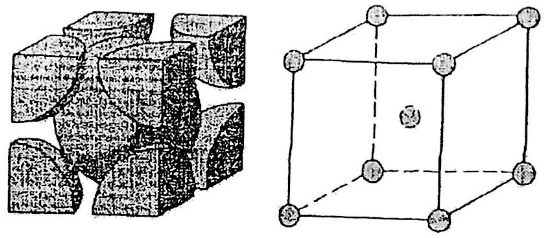
أ) النظام المكعبي مركزي الجسم (BCC) .

ب) النظام المكعبي مركزي الوجه (FCC) .

أما النظام السداسي فهو عبارة عن منشور سداسي محكم التعبئة ويسمى النظام السداسي المزدحم (HCP).

Scanned by CamScanner

1 1 1 النظام المكعبي مركزي الجسم (BCC)



أ ب

شكل (1-6) أ - الشكل الحقيقي لتوزيع الذرات بنظرية الكرات المصمتة في ال BCC.

ب - الشكل المبسط لتوزيع الذرات في ال BCC.

الرمز BCC لهذا النظام يأتي من الإنجليزية (Body Centered Cubic). شكل هذه الخلية عبارة عن مكعب به ذرة في مركزه وذرة في كل ركن من أركانه. يوضح شكل (1-6أ) الشكل الحقيقي لتوزيع الذرات بنظرية الكرة المصمتة كما يوضح الشكل (1-6ب) الشكل المبسط لتوزيع الذرات في ال BCC.

هناك عدة معادن لها هذا النوع من الخلايا الوحدية مثل الحديد والكروم والبوتاسيوم والصوديوم والتنجستن. هناك أربع معلومات هامة يمكن استخلاصها من الخلية وهي:

أ) العدد التنسيقي

ب) العدد الفعلي للذرات في الخلية.

ج) العلاقة بين أبعاد الخلية و نصف قطر الذرة.

د) نسبة الازدحام الذرية.

Scanned by CamScanner

1-1-4-1 العدد التنسيقي

يعرف العدد التنسيقي بأنه أقرب ذرات للذرة. و بنموذج الكرة المصمتة فإنه عدد الذرات التي تلامس الذرة. في الواقع فإن جميع الذرات في النظام البلوري متماثلة بمعنى أنه إذا أوجدنا العدد التنسيقي لذرة فإن جميع الذرات يكون لها نفس العدد التنسيقي.

من شكل (أ6-1) نجد أن ثمانية الذرات في الأركان تلمس الذرة التي في المركز وعلى هذا الأساس فإن العدد التنسيقي هنا هو ثمانية.

2-1-4-1 العدد الفعلي للذرات في الخلية

العدد الفعلي للذرات في الخلية هو عدد الذرات داخل الخلية. من شكل (أ6-1) نجد أن ذرة المركز بكاملها داخل الخلية، وذرات الأركان نصيب كل خلية منها 1/8.

العدد الفعلي للذرات في ال BCC = 1+8x1/8

= 2

3-1-4-1 العلاقة بين أبعاد الخلية و نصف قطر الذرة

يقصد هنا بأبعاد الخلية طول ضلع المكعب و تسمى في بعض الأحيان بثابت الشبكية (Lattice Constant) شكل (1-7) يوضح هذه العلاقة. إذا فرضنا أن طول ضلع المكعب (a) و نصف قطر الذرة r:

$$\sqrt{3}\,a = 4R$$

$$a = 4/\sqrt{3}R$$

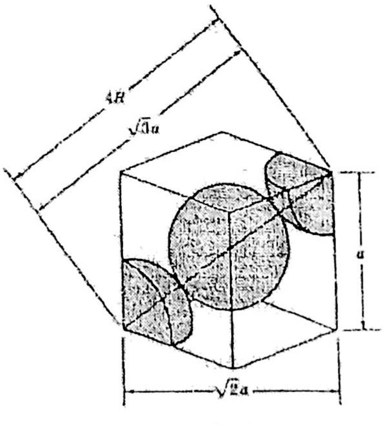
مثال: إذا كان نصف قطر ذرة الحديد 0.124 نانو متر (nm) أوجد ثابت شبكية ذرة الحديد.

الحل: $a = 4/\sqrt{3} \times 0.124 = 0.2864$ nm

Scanned by CamScanner

1-4-1-4 معامل الازدحام الذري (APF)

هو نسبة الحجم من الخلية الذي تحتله الذرات و يعرف باللغة الإنجليزية Atomic Packing Factor واختصارها (APF).



شكل (1-7) العلاقة بين أبعاد الخلية ونصف قطر الذرة في ال BCC

$$\text{نسبة الازدحام الذري} = \frac{\text{العدد الفعلي للذرات بالخلية} \times \text{حجم الذرة}}{\text{حجم الخلية}} = \frac{\text{حجم الذرات}}{\text{حجم الخلية}} = \frac{n \times V_{atom}}{V}$$

مثال : احسب معامل الازدحام الذري في ال BCC

الحل:

$$APF = \frac{2 \times 4/3\ \pi R^3}{(4/\sqrt{3}R)^3}$$

$$APF = \frac{2 \times \frac{4}{3}\pi R^3}{a^3} = \frac{2 \times \frac{4}{3}\pi R^3}{(4/\sqrt{3}R)^3}$$

$$APF = 0.68$$

حيث أن حجم الذرة = $4/3\ \pi R^3$

حجم الخلية = $(4/\sqrt{3}\ R)^3$

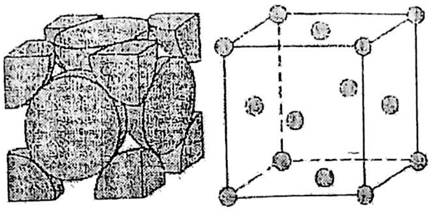
APF = 0.68

2-4-1 النظام المكعبي مركزي الوجه FCC

الرمز FCC لهذا النظام يأتي من الإنجليزية (Face Centered Cubic) شكل هذه الخلية عبارة عن مكعب به ذرة في مركز كل وجه من أوجه وذرة في كل ركن من أركانه. يوضح شكل (1-8 أ)

Scanned by CamScanner

الشكل الحقيقي لتوزيع الذرات بنظرية الكرة المصمتة كما يوضح شكل (1-8 ب) الشكل المبسط لتوزيع الذرات في ال FCC



شكل (1-8) أ - الشكل الحقيقي لتوزيع الذرات بنظرية الكرات المصمتة في ال FCC.

ب - الشكل المبسط لتوزيع الذرات في ال FCC.

هناك عدة معادن لها هذا النوع من الخلايا الوحدية مثل الألمنيوم والنحاس والرصاص والذهب والفضة والبلاتين. إذا فحصنا الشكل (1-8) من الوجه الأمامي فإن الذرة في مركز هذا الوجه تتلامس مع:

أ) أربع ذرات في الأركان الأمامية.

ب) أربع ذرات في مراكز الأوجه الخلفية في نفس الخلية.

ج) أربع ذرات في مراكز الأوجه الأمامية أي في الخلية التي أمامها.

بالتالي فإن العدد التنسيقي هو اثنا عشر. من شكل (1-8) نجد أن ذرات الأركان نصيب كل خلية منها 1/8 وذرات مراكز الأوجه نصيب كل خلية منها 1/2.

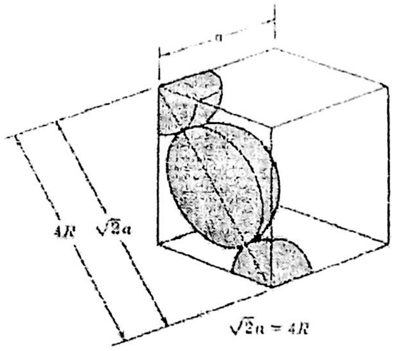
العدد الفعلي للذرات = $1/8 \times 8 + 6 \times 1/2$

$= 4$

من شكل (1-9) نجد أن العلاقة بين نصف قطر الذرة و ثابت الشبكية (أبعاد الخلية):

$$\sqrt{2}\,a = 4\,R$$
$$a = 4/\sqrt{2}\,r$$

Scanned by CamScanner



شكل (1-9) العلاقة بين أبعاد الخلية ونصف قطر الذرة في ال FCC

مثال: أوجد معامل الازدحام للخلية الوحدية FCC.

الحل: العدد الفعلي للذرات = 4

حجم الخلية = $(4/\sqrt{2}\ R)^3$

حجم الذرة = $4/3\ \pi\ R^3$

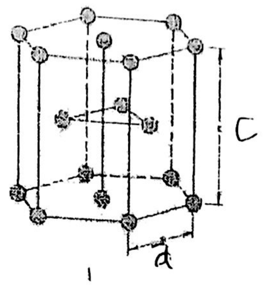
$$APF = \frac{4 \times 4/3\ \pi\ R^3}{(4/\sqrt{2}\ R)^3} = 0.74$$

3-4-1 النظام السداسي المزدحم (HCP)

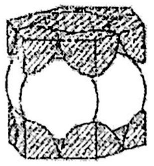
الرمز (HCP) لهذا النظام يأتي من الإنجليزية (**Hexagonal Close-Packed**) شكل هذه الخلية عبارة عن منشور سداسي توجد ذرة في كل ركن من أركانه، و ثلاث ذرات في داخله، وذرة في مركز كل من قاعدتيه.

شكل (1-10 أ) يوضح الشكل المبسط لتوزيع الذرات . شكل (1-10ب) يوضح شكل الكرات المصمتة لتوزيع الذرات.

Scanned by CamScanner



ا



ب

شكل (1-10) ا- الشكل المبسط لتوزيع الذرات في ال HCP.

ب- الشكل الحقيقي لتوزيع الذرات بنظرية الكرات المصمتة في الHCP

هناك عدة معادن تتبع هذا النوع من الخلايا الوحديه أو قريبة منه مثل الزنك (الخارصين) والماغنسيوم والكوبالت و الزيركونيوم و التيتانيوم و البريليوم.

مثال: احسب حجم المنشور المزدحم في الحالة المثالية.

الحل : كما في شكل (1-10ا) هناك بعدان للخلية وهما طول ضلع القاعدة (a) و الارتفاع (C). في الحالة المثالية، تكون الذرة في مركز القاعدة مع ثلاث الذرات في الوسط هرماً ثلاثياً منتظماً طول ضلعه (a). يكون ارتفاع هذا الهرم نصف ارتفاع المنشور (C/2). من المعروف رياضياً أن ارتفاع الهرم الثلاثي المنتظم الذي طول ضلعه **a** هو **0.8165a**. و منه :

$$C/2 = 0.8165a$$
$$C = 1.633a$$

من المعروف رياضياً أيضاً أن مساحة الشكل السداسي المنتظم الذي طول ضلعه **a** هي تقريباً $2.6\ a^2$ ومنه نستطيع أن نحسب حجم المنشور.

Scanned by CamScanner

حجم المنشور = مساحة القاعدة x الارتفاع

$= 2.6a^2 \times 1.633a$

$= 4.24\ a^3$

إذا فحصنا شكل (1-10ب) فإن أقرب الذرات للذرة التي في مركز القاعدة العلوية للمنشور هي كالتالي:

أ) ثلاث الذرات في منتصف المنشور.

ب) ست الذرات المحيطة بها بنفس القاعدة.

ج) ثلاث الذرات في وسط المنشور المجاور لهذا المنشور من أعلى و بالتالي فإن العدد التسيقي هو إثناعشر.

فيها ستة منشورات وبالتالي فإن نصيب المنشور منها 1/6 والذرات في مراكز القاعدتين يشارك في نفس الشكل (1-10ب) نجد أن الثلاث ذرات في الوسط يتعن داخل المنشور وذرات الأركان يشارك في كل منهما منشورين و بالتالي فتصيب المنشور منها 1/2 و بالتالي فإن:

العدد الفعلي للذرات = $3 + 12 \times 1/6 + 2 \times 1/2$

$= 6$

من الشكل (1-10ب) نستطيع أن نستنتج بسهولة أن :

$a = 2R$

مثال: احسب معامل الازدحام الذري لـ HCP في الحالة المثالية.

الحل : حجم الخلية في الحالة المثالية = $4.24a^3$

العدد الفعلي للذرات في الخلية = 6

$$APF = \frac{6 \times 4/3\, \pi R^3}{4.24 \times (2R)^3}$$

$$= 0.74$$

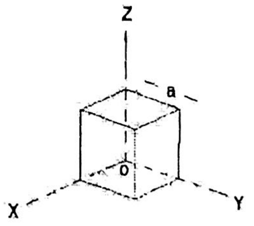
5-1 المستويات والمتجهات البلورية

تعتمد في كثير من الأحيان خواص المواد البلورية على الكثافة الذرية سواءاً الخطية (لوحدة الأطوال) أو المستوية (لوحدة المساحات). بناءاً على ذلك فإنه عند التعامل مع هذه المواد فإنه من المفيد تحديد متجهات و مستويات بلورية معينة. أكثر الطرق فاعلية و سهوله لدراسة المستويات والمتجهات البلورية يكون من خلال الخلية الوحدية و سوف نوضح ذلك من خلال دراسة المتجهات والمستويات البلورية في النظام المكعبي.

Scanned by CamScanner

1-5-1 المتجهات البلورية في النظام المكعبي

يمثل المتجه في النظام المكعبي بثلاثة أرقام صحيحة بين قوسين مربعين و يعبر عن الأرقام السالبة الصحيحة بخط في أعلى الرقم مثال لذلك المتجه [121] والمتجه [O$\bar{1}$] في المتجه الأخير $\bar{1}$ معناه 1 – لقراءة أو رسم المتجه لابد من تعين نقطة أصل ورسم ثلاثة محاور منها في اتجاه Z,Y,X كما هو موضح بشكل (1-11). تكون دائماً الاتجاهات الموجبة للمحاور كما هو موضح بالشكل أما نقطة الأصل فتكون اختيارية من بين ثمانية الأركان في للمكعب.



شكل (1-11) نقطة الأصل والمحاور في النظام المكعبي

1-1-5-1 قراءة المتجهات من خلية

نتبع الخطوات التالية لقراءة متجه من خلية:

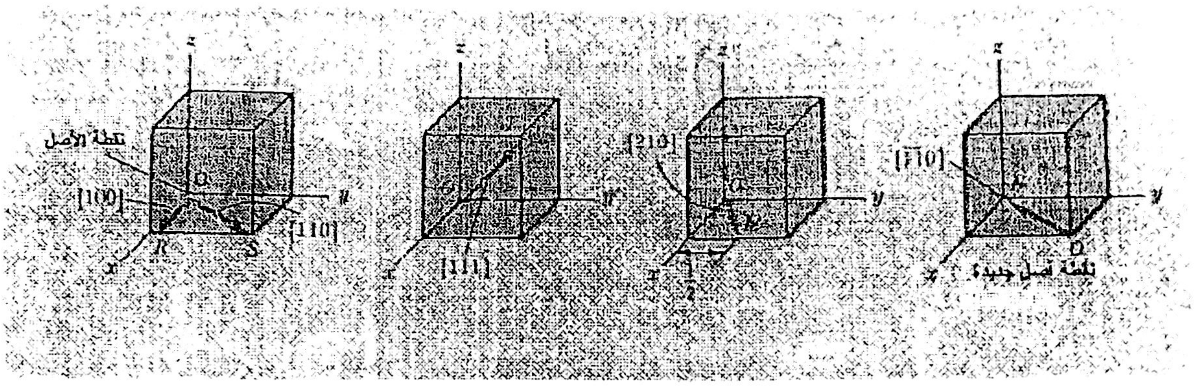
أ) يتم اختيار نقطة الأصل من أركان المكعب بحيث يمر بها المتجه مع الاحتفاظ باتجاهات المحاور كما في شكل (1-11).

ب) نوجد إسقاط المتجه على ثلاثة المحاور بدلالة طول ضلع الخلية (a).

ج) تضرب هذه الأرقام (ثلاثة الإسقاطات) أو تقسم بعامل مشترك لاختزالها لأصغر ثلاثة أرقام صحيحة.

د) توضع هذه الأرقام الصحيحة بين أقواس مربعة [UVW] حيث U هو العدد الصحيح للإسقاط على محورX,V هو العدد الصحيح للإسقاط على محورY,W هو العدد الصحيح للإسقاط على محورZ يوضح شكل (1-12) بعض الأمثلة.

Scanned by CamScanner



شكل (1-12) أمثلة للمتجهات

2-1-5-1 رسم متجه

عادة ما نتبع الخطوات التالية في رسم المتجه:

أ) نرسم الخلية و نقطة الأصل والمحاور كما في شكل (1-11) مع الأخذ في الاعتبار أن الاتجاهات الموجبة للمحاور هي اتجاهات الأسهم مع تثبيت نقطة الأصل.

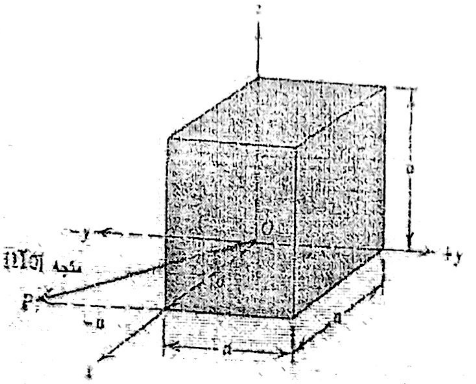
ب) إذا كان المتجه هو [UVW] ، نبدأ المسار من نقطة الأصل على محور X مسافة قدرها U من الوحدات (الوحدة هي a) في اتجاه محور X إذا كانت U موجبة و في عكس اتجاه محور X إذا كانت U سالبة. من النقطة الجديدة نبدأ التحرك مسافة V موازياً لمحور Y إذا كانت V موجبه وعكس اتجاه محور Y إذا كانت V سالبة. من آخر نقطة نبدأ التحرك موازياً لمحور Z مسافة W في اتجاه محور Z إذا كانت W موجبة وفي عكس اتجاه محور Z إذا كانت W سالبة.

ج) نصل نقطة الأصل بآخر نقطة و يكون ذلك هو المتجه [UVW] .

د) قد يكون هذا المتجه خارج الخلية أي في الخلية المجاورة وهو يعطي نفس المعنى لأن الخلايا هنا متماثلة.

هـ) مثال لذلك في شكل (1-13).

Scanned by CamScanner



شكل (13-1) مثال لرسم متجه

2-5-1 المستويات البلورية في النظام المكعبي

يمثل المستوى في النظام المكعبي بثلاثة أرقام صحيحة بين قوسين دائريين ويعبر عن الأرقام السالبة الصحيحة بخط أعلى الرقم مثال لذلك (111)، ($1\bar{1}0$) في المستويات، تسمى هذه الأعداد الصحيحة بإحداثيات ميلر. لقراءة أو رسم مستوى لا بد من تعيين نقطة أصل ورسم ثلاثة محاور في اتجاه X,Y,Z كما هو موضح بشكل (11-1) وتكون دائماً الاتجاهات الموجبة للمحاور كما هو موضح بنفس الشكل. أما نقطة الأصل فتكون اختيارية من بين ثمانية الأركان للمكعب.

1-2-5-1 قراءة المستويات من خلية

نتبع الخطوات التالية لقراءة مستوى من خلية:

أ) إذا كان المستوى يمر بنقطة الأصل نختار نقطة أصل أخرى مع الاحتفاظ باتجاه المحاور.

ب) نوجد نقط التقاطع مع المحاور مع الأخذ في الاعتبار:

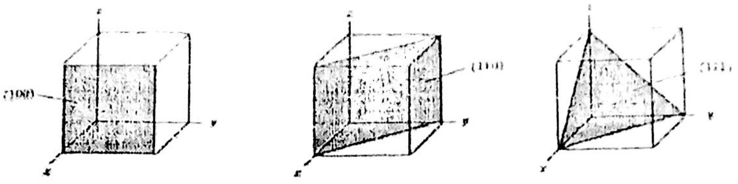
- الاتجاهات السالبة والموجبة.
- التوازي بمعنى أنه إذا كان المحور موازياً للمستوى فإن نقطة التقاطع تكون في مالا نهاية.

ج) نوجد مقلوب نقاط التقاطع مع معرفة أن مقلوب مالا نهاية هو صفر.

د) إذا كان ضرورياً نضرب الأرقام المقلوبة في عامل مشترك للحصول على أصغر أعداد صحيحة.

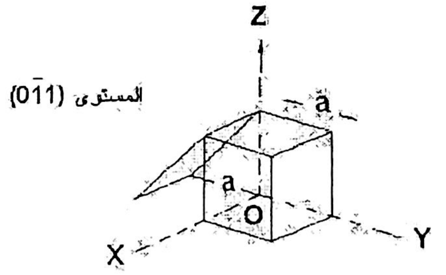
هـ) نضع الأعداد الصحيحة في قوسين دائريين (hkl) حيث h هو العدد المقابل لمحور X، k هو العدد المقابل لمحور Y، l هو العدد المقابل لمحور Z. أمثلة لذلك في شكل (14-1).

Scanned by CamScanner



شكل (1-14) أمثلة للمستويات

1-5-2-2رسم مستوى



شكل (1-15) مثال لرسم مستوى

عادة ما نتبع الخطوات التالية في رسم المستوى :

أ) نرسم الخلية و نقطة الأصل والمحاور كما في شكل (1-11) مع الأخذ في الاعتبار أن الاتجاهات الموجبة للمحاور هي اتجاهات الأسهم مع تثبيت نقطة الأصل.

ب) إذا كان المستوى (hkl) نوجد مقلوب هذه الأرقام ثم نحدد نقاط على المحاور. نقطة على محور X تبعد عن نقطة الأصل بمقدار 1/h من الوحدات (a) وتكون في اتجاه محور X إذا كانت القيمة موجبة و تكون عكس اتجاه محور X إذا كانت القيمة سالبة. بنفس الطريقة نحدد النقاط على محور Y والتي تبعد 1/k من الوحدات (a) عن نقطة الأصل و على محور Z والتي تبعد 1/l من الوحدات (a) عن نقطة الأصل. نصل ثلاث النقاط لنحصل على المستوى (hkl).

ج) إذا كان إحدى إحـ ثيات ميلر يساوي صفراً ، نحدد النقطتين الأخريين و نصل بينهما و نرسم منهما موازيات للمحور المقابل للصفر.

د) إذا كان هناك إحداثيتان يساوى كل منهما صفراً نحدد النقطة الباقية و نرسم منها خطان يوازيان المحاور المقابلة للأصفار. مثال لرسم مستوى في شكل (1-15).

Scanned by CamScanner

1-6 الكثافة الذرية للمتجهات و المستويات

1-6-1 الكثافة الذرية للمتجهات

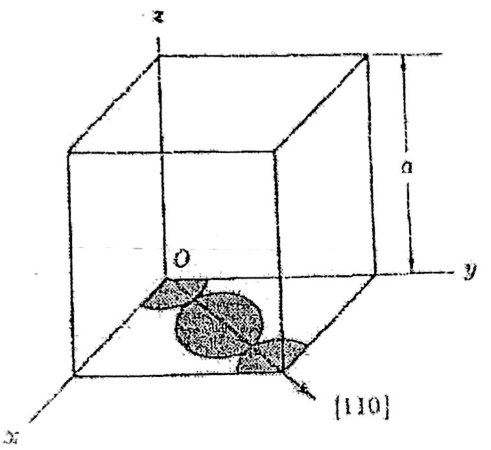
هي ببساطة عدد الذرات في وحدة الأطوال من المتجه و يمكن تعريفها كالآتي:

كثافة المتجه = عدد أقطار الذرات التي تتقاطع مع طول مختار من المتجه / الطول المختار للمتجه

مثال: احسب كثافة المتجه [110] للذهب إذا علمت أن ثابت الشبكية (a) 0.408 nm

(نانو متر= nm) هذا مع العلم بأن خلية الذهب من نوع FCC.

الحل : شكل (1-16) يوضح المتجه [110] في ال FCC.



شكل (1-16) المتجه [110] في ال FCC

الطول المختار للمتجه هو وتر الوجه = $\sqrt{2}\ a$

عدد أقطار الذرات التي تتقاطع مع هذا الطول = 1/2 + 1 + 1/2

= 2

كثافة المتجه= $2/\sqrt{2}a$

= $2/\sqrt{2} \times 0.408$ ذرة / NM

= $10^6 \times 2/\sqrt{2} \times 0.408$ ذرة / مم

= 3.466×10^6 ذرة لكل مليمتر

Scanned by CamScanner

1-6-2 الكثافة الذرية للمستويات

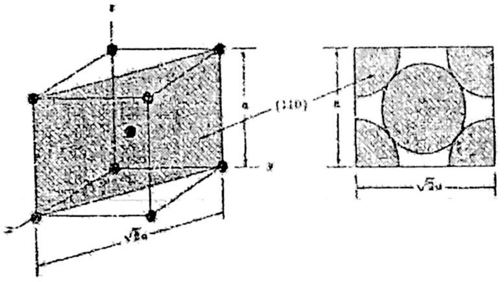
هي ببساطة عدد الذرات في وحدة المساحات من المستوى و يمكن تعريفها كالآتي.

كثافة المستوى =

عدد الذرات التي تتواجد مراكزها على مساحة مختارة من المستوى
المساحة المختارة من المستوى

مثال: احسب الكثافة الذرية للمستوى (110) للتنجستن إذا علمت أن ثابت الشبكية (a) 0.304 nm وأنه خلية التنجستن هي من نوع الـ BCC.

الحل: شكل (1-17) يوضح المستوى (110) في خلية الـ BCC.



شكل (1-17) المستوى (110) في ال BCC

المساحة المختارة للمستوى هي مستطيل طوله √2 a و عرضه a كما هو موضح بالشكل.

المساحة المختارة = √2 a x a

√2 a^2

عدد الذرات في هذه المساحة = 4 x 1/4+ 1

= 2

كثافة المستوى = $2/(\sqrt{2}a^2)$

= $2/(\sqrt{2}\ 0.304)^2$ = ذرة / nm^2

Scanned by CamScanner

= 2/(√2 (0.304) ^{2})x 10^{12} مم^2/ ذرة

= 1.53 x 10^{13} ذرة لكل مليمتر مربع .

7-1 عائلة المتجهات والمستويات في النظام المكعبي

1-7-1 عائلة المتجهات

عائلة المتجهات عموماً هي المتجهات المتساوية في كثافتها الذرية و في النظام المكعبى هي المتجهات التي لها نفس الإحداثيات بغض النظر عن الترتيب والإشارة فمثلاً المتجهات [100 ،[00 Ī] ،[010] ، [0 Ī 0] ،[001] ،[00Ī] ...

لها نفس الكثافة الذرية و بالتالي فهي من نفس العائلة. يرمز للعائلة بأقواس زوايا أي أن كل المتجهات السابقة من العائلة <100>.

2-7-1 عائلة المستويات

عائلة المستويات عموماً هي المستويات المتساوية في كثافتها الذرية و في النظام المكعبي هي المستويات التي لها نفس الإحداثيات بغض النظر عن الترتيب والإشارة فمثلاً المستويات (210 ، (٢0 Ī) ، (02 Ī) ...

لها نفس الكثافة الذرية و بالتالي فهي من نفس العائلة ورمز العائلة هنا هو {120}.

Scanned by CamScanner

اختبر معلوماتك

1) العدد الذري هو:

أ) عدد الإلكترونات + عدد البروتونات في الذرة.

ب) عدد النيوترونات في الذرة.

ج) عدد البروتونات في الذرة.

د) عدد التكافؤ.

2) إلكترونات التكافؤ هي:

أ) عدد الإلكترونات المكافئة للنيوترونات.

ب) العدد الذري.

ج) عدد الإلكترونات في المدار الأخير للذرة.

د) الإلكترونات الداخلية في الذرة.

3) الأيون هو:

أ) ذرة فقدت أو اكتسبت بروتونات.

ب) ذرة بها نيوترونات أكثر من بروتونات.

ج) ذرة فقدت أو اكتسبت إلكترونات.

د) جزئ عملاق.

4) أي من الجمل الآتية ينطبق على الرابطة الأيونية.

أ) هي رابطه بين فلزات ولا فلزات عادة.

ب) هي رابطة تتلا حم فيها المدارات الأخيرة للذرات.

ج) هي رابطة ثانوية.

د) هي أساس الرابطة المعدنية.

5) أي من الجمل الآتية تنطبق على الرابطة التساهمية:

أ) هي رابطة الجزيء.

ب) هي أساس الرابطة الفلزية.

ج) هي رابطة ثانوية لحظية.

د) هي رابطة ثانوية دائمة.

25

Scanned by CamScanner

علم المواد - المحاضرة الثانية عشر

Crystal Defects العيوب البلورية

مقدمة:

يندر وجود الحالة المثالية للمادة أي دون عيوب أو نواقص، وينعدم الحصول على المادة التي تتوافر فيها صفات الكمال، وما الكمال إلا لله وحده جل شأنه، وهكذا فإن المواد الفلزية البلورية التي نتعامل معها لا توجد في حالة تامة أو كاملة ولا يكون تركيبها الداخلي خالياً من العيوب والنواقص.

العيوب البلورية: من المعلوم أن معظم المواد الصلبة هي مواد متبلورة لكن في الحقيقة لا وجود لبلورة مثالية في الطبيعة فكل بلورة لها عيوب وإن كانت قليلة، والعيب البلوري بالنسبة للمواد الصلبة هو اختلال في استمرارية تركيب الذرات وذلك لعدة عوامل منها الحرارة.

4-1- أنواع البلورات:

1. **البلورة المثالية**: يفترض أن تكون الذرات متوضعة في عقدها المخصصة لها في الهيكل الشبكي بشكل منتظم وصحيح وعندئذ تشكل مجموعة الهياكل الشبكية هذه ما يسمى البلورة المعدنية المثالية. تمتاز بكون مجاميع التماثل تعيد نفسها عند فواصل أو فسح متساوية.

2. **البلورة الحقيقية**: تمتاز بصفة الدورية المنتظمة الثلاثية الأبعاد وتعيد

Scanned by CamScanner

1) ج

2) ب

3) د

4) د

5) ج

6) أ

7) ج

8) د

Scanned by CamScanner

نفسها ولكنها واقعية أي فيها عيوب إلى حد ما. تنتمي البلورة الأحادية والبلورة متعددة التبلور إلى البلورات الحقيقية.

4-2- تصنيف العيوب الشبكية:

تصنف عيوب الهياكل الشبكية وفق طبيعة انتشارها إلى:

أ) العيوب النقطية(الحدية): هي العيوب عديمة الأبعاد والتي تتركز في نقط.

ب) العيوب السطحية: هي العيوب الثلاثية الأبعاد.

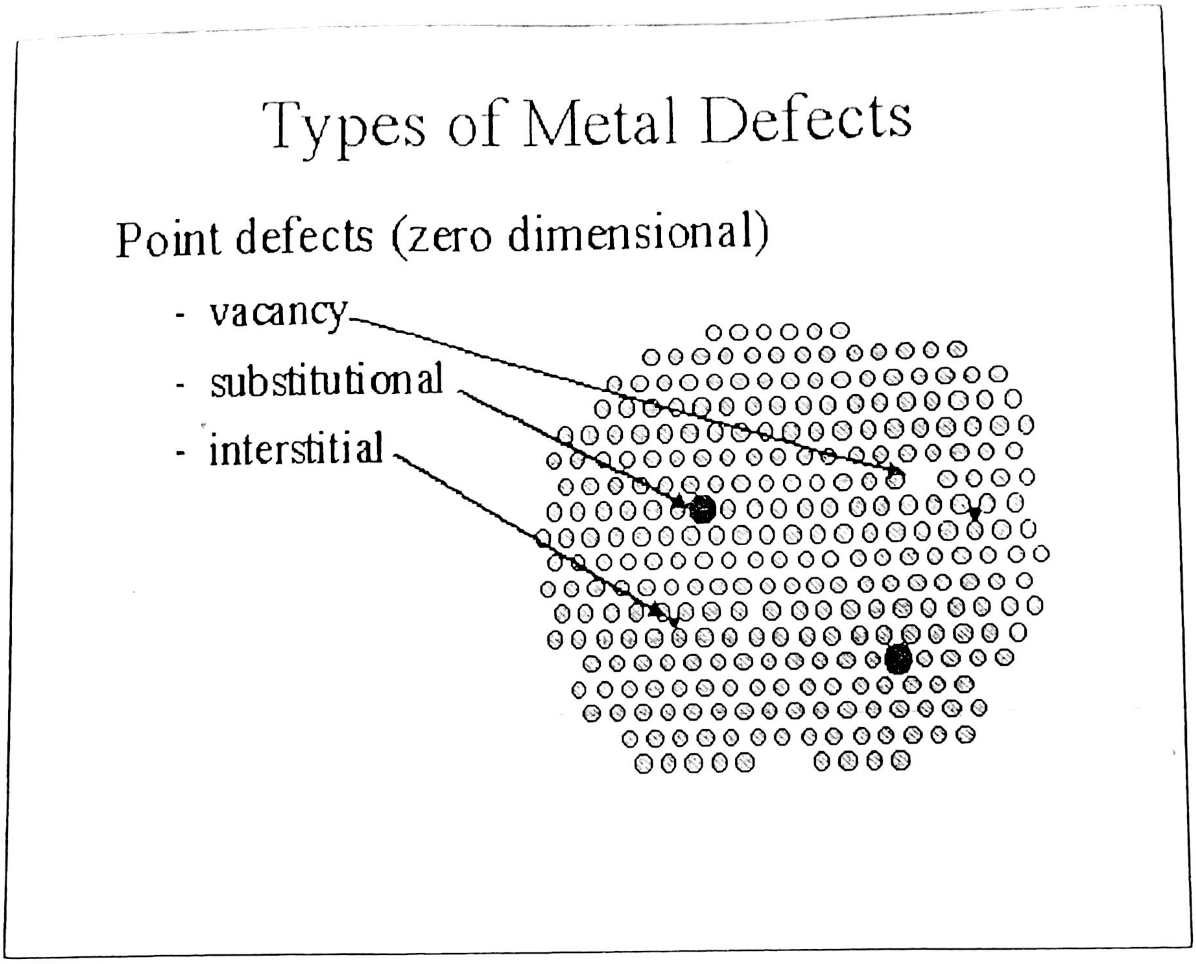
ج) العيوب الخطية: هي العيوب وحيدة البعد والمتمثلة في صورة خطوط.

4-2-1- العيوب النقطيةPoint Defects:

يكون العيب النقطي أو العيب الموضعي مركزاً حول نقطة محددة في الهيكل الشبكي ومحصوراً في عدد صغير من الذرات.

العيب النقطي هو انحراف أو اختلال في موقع ذرة ما. يوجد عدة أنواع من العيوب النقطية التي تحدث في المواد الفلزية وهي: إما فراغات أو ذرات مقحمة أو ذرات غريبة كما في الشكل(4-1)، بينما يتكون خلل فرانكل وخلل شوتكي في المركبات.

Scanned by CamScanner



الشكل(4-1) أنواع العيوب النقطية

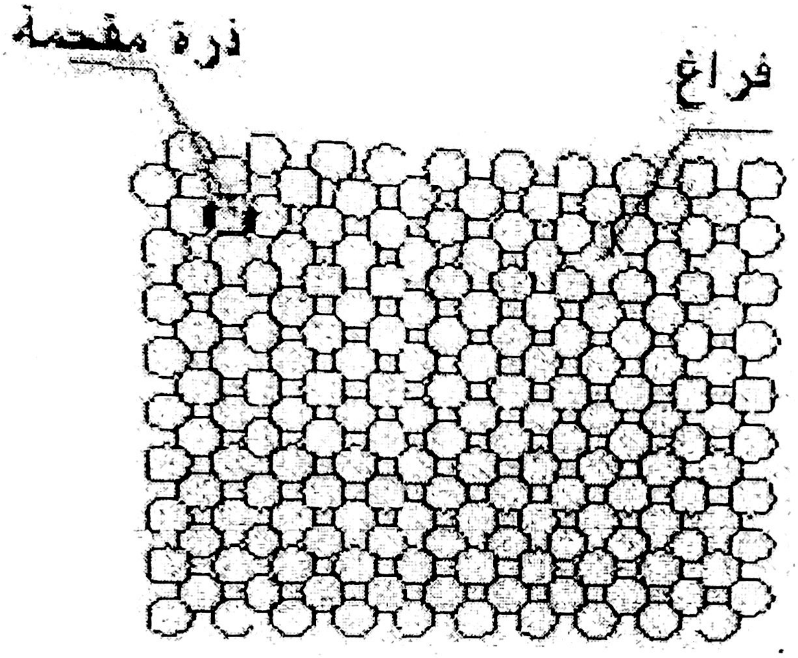
الفراغاتVacancies:

الفراغ أو الفراغات عبارة عن حيز(موقع) لذرة مفقودة ضمن الترتيب المنتظم للشبكة، ويحدث كنتيجة للانحناء البلوري وذلك بسبب التذبذب الحراري أو خلال مراحل التجمد: التنويه أو النمو البلوري، أو هي عبارة عن أماكن كان يجب أن يكون فيها ذرات ولكنها فارغة لا يوجد بها ذرات.

الذرات المقحمة الذاتية:

Scanned by CamScanner

هي ذرات من نفس العنصر ولكنها لا توجد في أماكنها الطبيعية بل توجد في أماكن بينية. يبين الشكل(4-2) هذه العيوب.

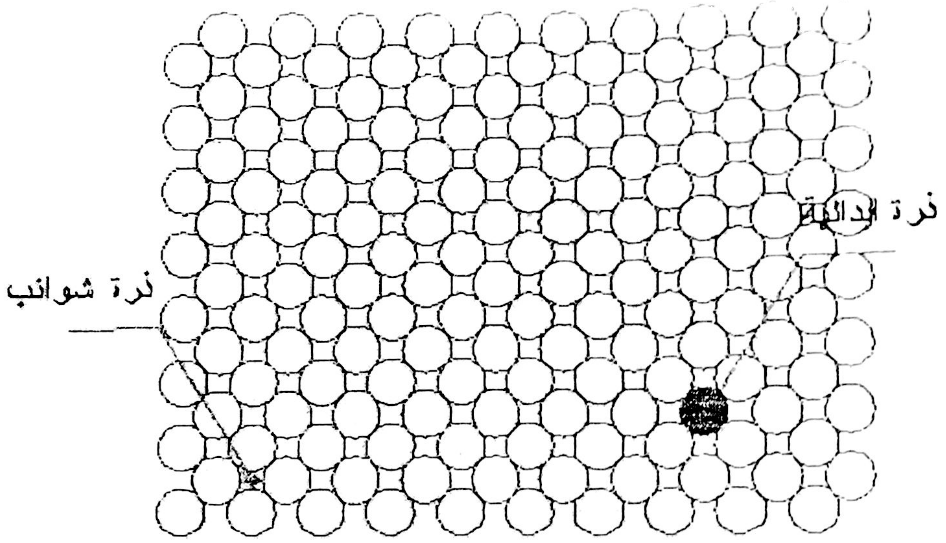


الشكل(4-2) الفراغات والذرات المقحمة

الذرات الإضافية أو الغريبة:

هي عبارة عن وجود ذرة إضافية داخل البنية البلورية وتكون على نوعين ذرات إبدالية تحل محل أحد مواقع الذرات الأصلية وذرات بينية تشغل حيز ما بين الذرات الأصلية وربما تكون من نفس النوع أو قد تكون ذرة شائبة كما في الشكل(4-3).

Scanned by CamScanner



الشكل(4-3) الذرات الإبدالية وذرات الشوائب

على العموم، تحدث العيوب النقطية إما بسبب ظاهرة انتشار الذرات أو بسبب عمليات التشكيل بالدرفلة أو بالسحب أو أثناء عملية التبلور أو نتيجة تعرض البلورة المعدنية لإشعاعات نووية. تتواجد العيوب النقطية بكافة أشكالها في البلورات(البنية) وعند أي درجة حرارة.

إن كل هيكل شبكي يحتوي على عدد من الثقوب، وبازدياد عددها في الهيكل تزداد الطاقة المختزنة في المجموعة وتزداد في الوقت نفسه الأنتروبيا حيث تتعلق الأنتروبيا بعدد احتمالات توضع الذرات في الهياكل الشبكية. بفرض أنه في هيكل شبكي ما أن عدد الأماكن الكلية التي يمكن للذرات أن تحتلها N والفارغة منها n فيكون عدد الاحتمالات W مساوياً:

$$W = \frac{Ni}{(N-n)!\,n!}$$

إن مفهوم الأنتروبيا يتعلق بالرقم W وهو الرقم الدال على الاحتمالات أو عدد الأوضاع التي يمكن أن تحتلها الذرات في الأماكن المخصصة لها في المجموعة.

والأنتروبيا هي تابع للرقم W حسب علاقة بولتسمان:

$$S = K.\,lnW$$

حيث K ثابت بولتسمان وقيمته: $K = 1.38 \times 10^{-23}\, J/_{C^{\circ}}$

يكون تركيز الثقوب مساوياً الصفر عند درجة حرارة الصفر المطلق، ويزداد التركيز بسرعة مع ارتفاع درجة الحرارة. يتعلق التركيز بدرجة الحرارة وفق العلاقة التالية:

$$\frac{n}{N} \cong e^{-E/KT}$$

حيث:

T: درجة الحرارة.

N: العدد الكلي للذرات في واحدة الحجوم من البلورة.

n: عدد الثقوب في ذلك الحجم.

E: الطاقة النشيطة للثقب، التي تساوي العمل اللازم لتشكل هذا الثقب.

K: ثابت بولتسمان.

تركيز الثقوب: هو نسبة عدد الأماكن الفارغة إلى الأماكن الكلية في الهيكل الشبكي.

بعض العيوب النقطية:

خلل شوتكي: هو عيب نقطي يحدث عندما تهاجر ذرة ما موقعها في

Scanned by CamScanner

الشبكة وتستقر عند سطح البلورة ويحدث هذا بمراحل متعاقبة.

خلل فرانكل: هو أن تزال ذرة من مكانها في الشبكة البلورية وتقحم في موقع بيني ويتضمن زوجاً من العيوب خلق فجوة أو ثغرة وذرة إضافية داخل البنية البلورية.

4-3- ظاهرة الانتشار(Diffusion):

هي آلية انتقال مواد خلال مواد أخرى. في الحالة الغازية يتم انتقال الروائح بسهولة، أما في الحالة السائلة فيكون الانتشار أصعب بعض الشيء لكنه في الحالة الجامدة يكون صعباً لأن حركة الذرات تكون مقيدة نتيجة للروابط الذرية، لكن تذبذب الذرات حول مواقعها يسمح لبعض الذرات بالحركة.

إن آلية الانتشار في المواد الصلبة(الجامدة) تعتمد على العيوب النقطية وهناك ثلاثة عوامل تساعد على زيادة معدل الانتشار:

1- درجة الحرارة: إن زيادة درجة الحرارة تؤدي إلى زيادة الانتشار بشكل كبير.

2- التركيز: عادة تنتقل المادة ذات التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل، لذلك كلما زاد فرق التركيز زاد الانتشار بدرجة كبيرة.

3- الزمن: يزداد الانتشار مع زيادة الزمن، لكن تأثيره أقل من تأثير درجة الحرارة بكثير.

هناك آليتان للانتشار في المواد البلورية:

1- آلية الفراغات والذرات الإبدالية حيث تتبادل الفراغات والذرات الإبدالية

Scanned by CamScanner

أماكنها.

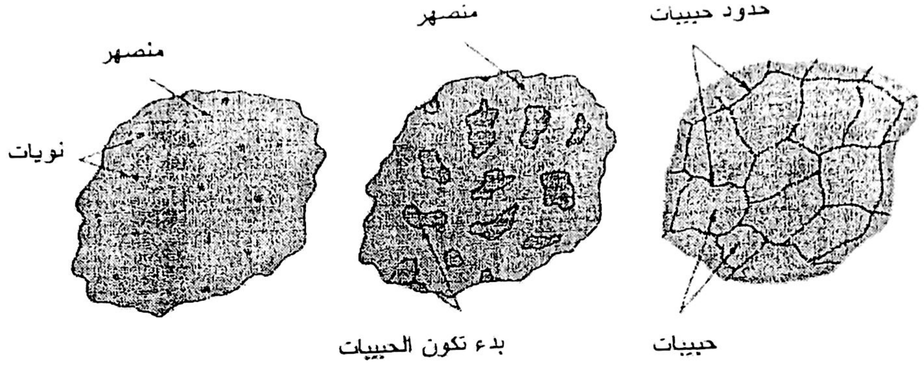
2- آلية الانتشار الإقحامي وفيها تنتقل الذرة من مكان بيني إلى مكان بيني مجاور.

4-2-2- العيوب السطحية Surface Defects :

تتكون المعادن من بلورات وكل بلورة تتكون من ذرات مرتبة في اتجاه معين، يتم ذلك أثناء ما يعرف بعملية البلورة(التبلور). عند تبريد معدن منصهر، تبدأ ذراته بالتبلور أي بالتجمع على شكل نويات كل منها تحتوي على ذرات مرتبة بطريقة منتظمة تتفق مع نوع المادة. يزداد عدد النويات إذا كان التبريد سريعاً ويقل عندما يكون التبريد بطيئاً. يبين الشكل(4-4) عملية التبلور، حيث يلاحظ تطور نمو النويات أثناء عملية التبريد للمعدن المنصهر والتي يبدأ منها تكوين الحبيبات بحسب التركيب البلوري للمادة لتتحول فيما بعد إلى حبيبات. من هنا نستنتج أن التبريد السريع ينتج حبيبات(بلورات) صغيرة والتبريد البطيء ينتج بلورات كبيرة.

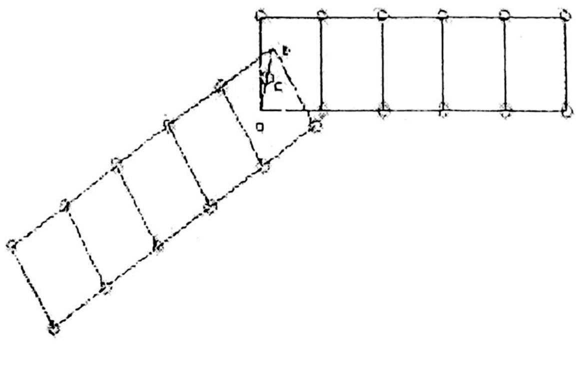
وأثناء تكوين هذه الحبيبات يحدث تصادم بين الحبيبات المجاورة ينتج عنها تشوه في التنظيم(حدود الحبيبات) وهذه المناطق تصبح غير مستقرة وضعيفة وبالتالي تتآكل سريعاً بفعل الأحماض وتسمى العيوب السطحية. يشترك في تكوين هذا النوع من العيوب ذرات مستوي بلوري كامل حيث يضطرب التركيب البلوري النموذجي عندما تمتد هذه العيوب في بعدين لتكون سطوحاً داخل البلورة.

Scanned by CamScanner



الشكل(4-4) عملية التبلور

يبين الشكل(4-5) وضع الذرات على الحدود فهي في مكان متوسطC ليس مع الحبيبة الأولىa ولا الثانيةb. يستفاد من هذه الظاهرة في تحديد حدود الحبيبات في الفلزات. عند وضع الأحماض(المظهرات) على سطح المعدن المثقل، تكون أكثر الأماكن تآكلاً هي حدود الحبيبات وبالتالي فإنه يمكن تمييزها عند وضع العينات تحت المجهر.



الشكل(4-5) وضع الذرات على حدود الحبيبات

Scanned by CamScanner